DIE NATURWISSENSCHAFTEN

HERAUSGEGEBEN VON
ARNOLD BERLINER
ORGAN DER GESELLSCHAFT DEUTSCHER NATURFORSCHER UND ÄRZTE
UND
ORGAN DER KAISER WILHELM-GESELLSCHAFT ZUR FÖRDERUNG DER WISSENSCHAFTEN
VERLAG VON JULIUS SPRINGER IN BERLIN W 9

HEFT 6 (SEITE 93—116) 6. FEBRUAR 1925 DREIZEHNTER JAHRGANG

INHALT:

Hierzu Nr. 1/2 der Mitteilungen der Gesellschaft Deutscher Naturforscher und Ärzte

Der Postvertrieb der „Naturwissenschaften" erfolgt von Leipzig aus!

DIE NATURWISSENSCHAFTEN

erscheinen in wöchentlichen Heften und können im In- und Auslande durch jede Sortimentsbuchhandlung, jede Postanstalt oder den unterzeichneten Verlag bezogen werden. Preis vierteljährlich für das In- und Ausland 7.50 Goldmark (1 Gm. = 10/42 Dollar nordamerikanischer Währung). Hierzu tritt bei direkter Zustellung durch den Verlag das Porto bzw. beim Bezuge durch die Post die postalische Bestellgebühr. Einzelheft 0.80 Goldmark zuzüglich Porto.

Manuskripte, Bücher usw. an
Die Naturwissenschaften, Berlin W 9, Linkstr. 23/24, erbeten.

Preis der Inland-Anzeigen: 1/1 Seite 90 Goldmark, Millimeter-Zeile 0.20 Goldmark. Zahlbar zum amtlichen Berliner Dollarkurs am Tage des Zahlungseingangs.

Für Vorzugsseiten besondere Vereinbarung. — Bei Wiederholungen Nachlaß.

Auslands-Anzeigepreise werden auf direkte Anfrage mitgeteilt.

Klischee-Rücksendungen erfolgen zu Lasten des Inserenten.

Verlagsbuchhandlung Julius Springer, Berlin W 9, Linkstr. 23/24.
Fernsprecher: Amt Kurfürst 6050—53. Telegrammadr.: Springerbuch.
Reichsbank-Giro-Konto: — Deutsche Bank Berlin, Depositen-Kasse C.

DIE NATURWISSENSCHAFTEN

Dreizehnter Jahrgang 6. Februar 1925 Heft 6

Magnuseffekt und Windkraftschiff[1]).

Von L. PRANDTL, Göttingen.

I.

Das Flettnersche Windkraftschiff, das durch eine ungewöhnlich eifrige Zeitungspropaganda in aller Munde ist, hat die Strömungslehre, die bis dahin ein bescheidenes Dasein, beschränkt auf den Kreis der engeren Fachleute geführt hatte, plötzlich in den Vordergrund des allgemeinen Interesses gerückt; der wunderliche „Flettner-Rotor" zeigte nämlich ein Verhalten, das man sich mit den überkommenen Anschauungen über den Winddruck schlechterdings nicht erklären konnte, sollte doch der rotierende Zylinder dieselben Kraftwirkungen hervorbringen, wie ein Segel mit 10 bis 15 mal so großer Ansichtsfläche!

Die moderne Strömungslehre vermag nun nicht nur diesen zunächst so rätselhaften Vorgang völlig aufzuklären, sondern sie war bei der Entdeckung der großen Kräfte des rotierenden Zylinders sogar die planvolle Führerin gewesen. Da die Bekanntschaft mit den Gesetzen der Strömungslehre nicht genügend verbreitet ist, diese aber in ziemlich weitem Umfang vorausgesetzt werden müssen, wenn man zu einer wirklichen Erklärung der Erscheinung gelangen will, so ergreife ich gern die willkommene Gelegenheit, um die Leser an Hand des hier gegebenen Beispiels etwas in diese Lehre einzuführen.

Bevor ich aber auf diese Dinge näher eingehe, möge einiges über die *Entdeckungsgeschichte* der merkwürdigen Erscheinung Platz finden. Diese bezieht sich zunächst nicht auf den Zylinder, sondern auf die durch die Luft geworfene rotierende Kugel, deren Abweichungen von der gewöhnlichen Wurflinie bereits seit Jahrhunderten den Artilleristen und ebenso den Ballspielern aufgefallen war.

Die Artilleristen waren, als man noch mit wirklichen „Kugeln" schoß, bereits frühzeitig auf gewisse unregelmäßige Abweichungen der Geschoßbahnen aufmerksam geworden. B. ROBINS hat bereits 1742 ausgesprochen, daß diese Abweichungen von der Rotation der Kugeln herrührten. Er hat später auch den versuchsmäßigen Nachweis dafür erbracht. Gegen 1830 war man, um die sonst ganz unregelmäßigen Rotationen zu beherrschen, dazu gekommen, Kugeln mit exzentrischem Schwerpunkt zu verwenden. Beim Schießen mit solchen exzentrischen Kugeln zeigte sich denn auch, daß der Schuß, wenn die Kugel mit „Schwerpunkt unten" geladen war, regelmäßig zu kurz ging (da der Druck der Pulvergase im Kugelmittelpunkt angriff, ergab sich hierbei eine Drehung der Kugel von oben nach vorn und unten). Lud man mit „Schwerpunkt oben", so ging der Schuß zu weit. Entsprechend gab es bei „Schwerpunkt rechts" Abweichung nach rechts und bei „Schwerpunkt links" Abweichung nach links. Diese Seitenabweichung ließ sich nun, wie Schießversuche mit mehreren hintereinander befindlichen Scheiben erwiesen, nicht durch einen seitlichen Stoß, den das Geschoß in der Mündungsebene erhalten hätte, erklären, denn die Flugbahn war deutlich nach der Seite gekrümmt, also mußten Luftkräfte im Spiel sein, die das Geschoß dauernd weiter ablenkten.

Um eine sichere Entscheidung der Angelegenheit herbeizuführen, machte der bekannte Berliner Physiker G. MAGNUS, der Lehrer von HELMHOLTZ, 1852 einige Laboratoriumsversuche[1]). Unter anderem setzte er einen zwischen Spitzen gelagerten Messingzylinder, der wie ein Kreisel mit einer Schnur in rasche Umdrehung versetzt werden konnte, auf einen leicht drehbar gelagerten Arm und blies mittels eines kleinen Zentrifugalgebläses einen Luftstrom gegen den Zylinder. Dieser wich in der Richtung senkrecht zum Luftstrom und senkrecht zur Zylinderachse aus, und zwar immer nach derjenigen Seite hin, auf der die Umfangsgeschwindigkeit mit dem Luftstrom gleichgerichtet war. Der Sinn der Ablenkung war in Übereinstimmung mit den Schießversuchen, und die Größe der ablenkenden Kraft, die MAGNUS allerdings nicht gemessen hat, schien ihm durchaus von solcher Größe zu sein, daß die Ablenkungen kugelförmiger Geschosse wirklich damit erklärt werden konnten[2]). Seither ist es üblich geworden, die ganze Erscheinungsgruppe mit dem Namen „Magnuseffekt" zu belegen. Das Verdienst von MAGNUS um die erste laboratoriumsmäßige Klarlegung der Erscheinung erfuhr dadurch seine gerechte Würdigung.

Noch älter als bei den Artilleristen war übrigens die Kenntnis der Ablenkung rotierender Kugeln bei den Ballspielern. Beim Tennisball ist die Erscheinung ja ziemlich auffällig und es ist jedem geübten Spieler geläufig, daß ein „geschnittener Ball" deutlich von der Wurfbahn des nicht geschnittenen Balls abweicht[3]). Wird der Ball von rechts streifend angeschlagen, dann weicht er von der Vertikal-

[1]) Erweiterte Wiedergabe eines Vortrags vor der Göttinger Physikalischen Gesellschaft am 17. November 1924.

[1]) Vgl. hierzu den Aufsatz über GUSTAV MAGNUS von P. PRINGSHEIM. Naturw. 13, 49, 1925. (Bei der Korrektur zugefügt.)

[2]) MAGNUS behandelt in der gleichen Arbeit auch die Abweichungen rotierender Langgeschosse durch besondere Versuche und daran anknüpfende theoretische Betrachtungen. In den populären Darstellungen, die man jetzt vielfach in Tageszeitungen lesen konnte, wurden diese Dinge mit dem Magnuseffekt, mit den sie nichts zu tun haben, vielfach in einen Topf geworfen.

[3]) Nach G. T. WALKER erwähnt bereits JS. NEWTON 1671, daß der geschnittene Tennisball eine Raumkurve beschreibe.

ebene, die seine anfängliche Flugrichtung enthält. nach links ab, und umgekehrt. Von unten angeschlagene Bälle fliegen gestreckter, von oben angeschlagene kürzer als der normalen Wurflinie entspricht. Noch auffälliger sollen nach G. T. WALKER die Erscheinungen beim Golfball sein. Dieser erreicht, von unten angeschlagen, wesentlich längere Flugwege und Flugzeiten, als es nach den Fallgesetzen bei derselben Anfangsgeschwindigkeit möglich wäre, und es ist sogar das erste Bahnstück deutlich nach oben konkav! Bei fehlerhaftem (seitlichen) Anschlag sollen Seitenabweichungen bis zu 70 m aus der Vertikalebene durch die Anfangsrichtung vorkommen.

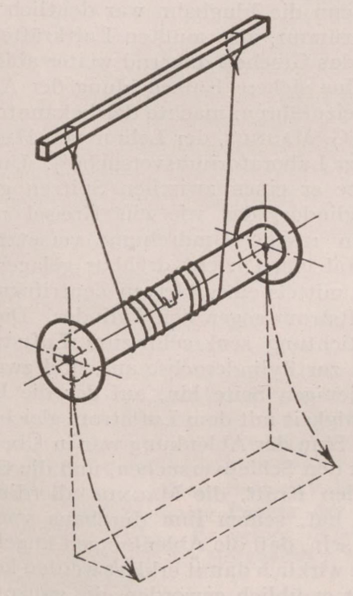


Fig. 1. Versuch zum Nachweis des Magnuseffekts.

Der Magnuseffekt läßt sich auch sehr leicht ohne große Hilfsmittel im Hörsaal oder Zimmer demonstrieren. Hierzu eignen sich z. B. schon einfache aus Papier geklebte längliche Zylinder, die man so wirft, daß man ihnen gleichzeitig eine starke Rotation erteilt. (Am besten Wurf nach vorwärts, mit Handhaltung, ähnlich wie beim Kegeln; Bahn ähnlich wie Fig. 2.) Die Erscheinungen werden besonders deutlich, wenn man den Zylinder sehr länglich macht; dabei empfiehlt es sich, ihn an den Enden mit überstehenden Scheiben aus Karton zu versehen, die einmal seine Steifigkeit und seinen Drehschwung erhöhen, aber auch eine aerodynamische Verbesserung darstellen. Wickelt man um einen solchen Zylinder, der durch einen passenden Einschnitt in der Mitte mit einer kleinen Nase versehen ist, einen mit beiden Enden an einem Holzstäbchen befestigten Faden, so weicht er beim Fallen deutlich in der in Fig. 1 angegebenen Weise nach der Seite aus. Auch ein dreiseitiges Prisma aus Papier, gegebenenfalls auch mit Endscheiben, das man zwischen den Fingerspitzen der einen Hand hält und mit einem Finger der anderen Hand an der mit dem Pfeil bezeichneten Stelle anschnippt zeigt sehr auffällig eine Ablenkung, wie in Fig. 2 angegeben (die Versuche werden vorgeführt).

II.

Nun zu den *Erklärungsversuchen!* In den Kreisen der Artilleristen war man früher vielfach geneigt gewesen, die Erscheinung so zu erklären, daß die rotierende Kugel auf dem „Polster verdichteter Luft“, das sich vor ihr bilde, eine vermehrte Reibung erführe, die die Seitenablenkung verursache. S. D. POISSON wies aber nach, daß die Luftreibung keineswegs ausreiche, um solche Wirkungen hervorzurufen. Vor allem aber zeigten die bereits erwähnten Versuche mit exzentrischen Kugeln, daß in Wirklichkeit die Ablenkung gerade nach der umgekehrten Seite erfolgte, als die „Polstertheorie“ verlangte.

MAGNUS gab im Anschluß an seine Versuche eine Erklärung, die zwar den Effekt ein wenig verständlich macht, aber infolge des damaligen primitiven Zustandes der Strömungslehre uns Heutige gar nicht mehr zu befriedigen vermag[1]). Wesentlich mehr vermag uns dagegen die Darlegung zu geben, die Lord RAYLEIGH 1877 in Anknüpfung an die Flugbahnen geschnittener Tennisbälle veröffentlicht hat. Die Strömungslehre hatte inzwischen durch HELMHOLTZ, Sir WILLIAM THOMSON und andere bedeutende Fortschritte gemacht, die allerdings fast ausschließlich einer „idealen Flüssigkeit“ ohne alle Reibung und Volumände-

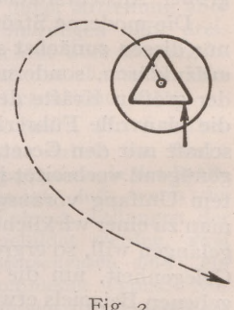


Fig. 2. Ein weiterer Versuch.

[1]) MAGNUS geht zunächst davon aus, daß von einem Luftstrom, den man auf einen ruhenden Zylinder in einer Richtung senkrecht zur Achse bläst, Kerzenflammen oder kleine Windfahnen, die man seitlich vom Zylinder anbringt, gegen den Zylinder hinbewegt werden (Offenbar dürfen sie dazu nicht in dem Luftstrom selbst stehen, sondern außerhalb desselben, so daß es sich also nur um einen dünnen Luftstrahl handeln kann). M. schließt nun aus diesem Verhalten der Flammen und Windfahnen, daß „die Bewegung der Luft längs der Zylinderfläche nicht, wie man allgemein annimmt, eine Vermehrung des Druckes gegen diese hervorbringt, sondern im Gegenteil eine Verminderung in einer gegen den Luftstrom senkrechten Richtung, und zwar eine um so größere, je größer die Geschwindigkeit der Luft ist.“ M. schließt nun weiter: „Dreht sich der Zylinder nicht, so ist die Verminderung des Druckes auf beiden Seiten gleich. Dreht er sich aber, so ist auf der Seite, die sich in gleicher Richtung mit der Luft bewegt, die Geschwindigkeit und folglich auch die Verminderung des Druckes größer als auf der anderen, wo eine der Luft entgegengesetzte Bewegung stattfindet.“ M. hat auf dieser letzteren Seite einen Aufstau der Luft beobachtet und nimmt daher hier einen gleichen Überdruck an, wie er eintritt, wenn zwei entgegengesetzt gerichtete Wasserstrahlen gegeneinanderströmend aufeinanderprallen.

rung galten. Lord RAYLEIGHS Rechnungen knüpften an die Strömung einer solchen idealen Flüssigkeit um einen in der Achsenrichtung unendlich ausgedehnten Kreiszylinder an und betrachtete die Strömungszustände, die entstehen, wenn die gewöhnliche „Potentialströmung" mit einer umlaufenden „Zirkulationsströmung" überlagert wird, und er errechnete die auf den Zylinder ausgeübte Kraft aus der Druckverteilung am Zylinder. Lord RAYLEIGH hebt aber selbst hervor, daß es ein schwacher Punkt seiner Theorie sei, daß die Rechnungen nur bei Abwesenheit von Flüssigkeitsreibung richtig seien, daß aber nach einem Satz von THOMSON die zirkulatorische Bewegung bei Abwesenheit von Reibung nicht entstehen könne, oder, wenn sie einmal vorhanden sei, sich nicht ändern könne. Die Entstehung der Strömung, für die man offenbar doch die Flüssigkeitsreibung verantwortlich machen mußte, blieb also dunkel. Immerhin ist die Rechnung von Lord RAYLEIGH sehr lehrreich, und es ist für uns nützlich, sich mit ihr und auch mit den ihr zugrunde liegenden Theorien über die Bewegung einer idealen Flüssigkeit etwas genauer zu beschäftigen, denn die wirklichen Flüssigkeiten, wie Wasser und Luft, besitzen nur sehr geringe innere Reibung, so daß in günstigen Fällen eine Aussage über die Bewegungsart einer idealen Flüssigkeit auch eine angenähert richtige Aussage für eine wirkliche Flüssigkeit liefert. Ob ein solcher „günstiger Fall" vorliegt, bedarf dabei allerdings noch einer besonderen Untersuchung. Hierüber wird später noch einiges zu sagen sein.

Die gewöhnlich untersuchten Strömungen einer idealen Flüssigkeit, nämlich diejenigen, die in einer ursprünglich ruhenden Flüssigkeit durch Bewegung von Körpern in ihr oder durch Druckwirkung auf der Oberfläche entstehen, sind von derselben geometrischen Art wie die Strömungen der Elektrizität in einem homogenen körperlichen Leiter (oder auch wie das magnetische Feld in einem Raum mit unveränderlicher Permeabilität). Sie sind, wie der Fachausdruck lautet, aus einem Potential ableitbar, das der Laplaceschen Differentialgleichung genügt. Das wesentliche Merkmal der Potentialströmung ist, daß die einzelnen Flüssigkeitselemente sich nicht drehen. Es hängt das eng mit der Reibungslosigkeit zusammen; ohne Zuhilfenahme der Reibung kann ein Flüssigkeitsteilchen nicht in Drehung versetzt werden.

Die beiden Strömungen, von denen Lord RAYLEIGH ausgeht, sind in Figg. 3 u. 4 veranschaulicht. Eine Strömung von derselben Form wie Fig. 3 ließe sich auch dadurch herstellen, daß man durch eine Blechtafel, in die in der Mitte ein kreisförmiges Loch geschnitten ist, einen elektrischen Strom schickt (man müßte dazu an den linken und rechten Rand des aus einem schlecht leitenden Metall bestehenden Blechs einen gutleitenden Kupferstreifen auflöten und den Strom durch die Kupferstreifen zuführen). Die Strömung von Fig. 4 ließe sich elektrisch nur so erzeugen, daß man das Blech mit dem kreisförmigen Loch längs eines Radius aufschlitzte und die Kupferschienen links und rechts von dem Schlitz anlötete. Magnetfelder von der Art der Fig. 4 sind dagegen sehr bekannt. Das Magnetfeld eines elektrischen Stromes, der durch einen senkrecht zur Zeichenebene durch den Kreismittelpunkt hindurchgehenden geraden Draht fließt, ist von dieser Art.

Die Strömung, die den eigentlichen Gegenstand der Rayleighschen Betrachtung bildet, wird nun

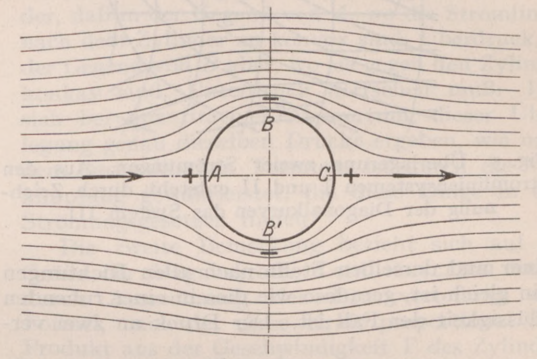


Fig. 3. Potentialströmung um einen Kreiszylinder.

durch „Überlagerung" (Superposition) der beiden Strömungen nach Fig. 3 u. 4 erhalten. Man versteht darunter die Strömung, deren Geschwindigkeit in jedem Punkt durch Zusammensetzung der beiden Einzelgeschwindigkeiten nach dem Parallelo-

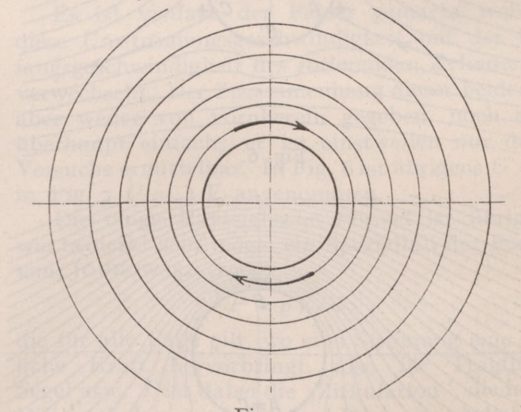


Fig. 4.
Zirkulatorische Umströmung eines Kreiszylinders.

gramm erhalten wird (das Potential entsteht einfach durch Addition der beiden Potentialwerte in jedem Raumpunkt; das Stromliniensystem entsteht, wenn die beiden Stromliniensysteme so übereinander gezeichnet werden, daß die sekundlich geförderte Flüssigkeitsmenge zwischen je zwei Stromlinien überall dieselbe ist, einfach durch Zeichnen der Diagonalkurven, vgl. Fig. 5). Als Ergebnis der Überlagerung der Strömungen Fig. 3 und Fig. 4 entstehen nun je nach der Intensität der zirkulatorischen Bewegung von Fig. 4 verschiedene Formen; eine mit mäßiger Zirkulation zeigt Fig. 6, eine mit stärkerer Fig. 7.

Um zu verstehen, was mit diesen Strömungen erreicht ist, müssen wir uns nun mit der Druckverteilung in einer strömenden idealen Flüssigkeit befassen. Zunächst ist zu sagen, daß der Druck an

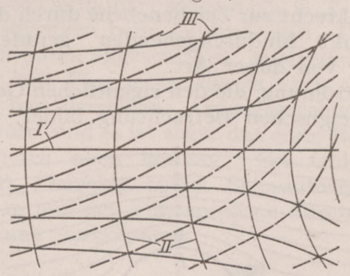


Fig. 5. Überlagerung zweier Strömungen. Aus den Stromliniensystemen I und II entsteht durch Zeichnung der Diagonalkurven das System III.

einer und derselben Stelle nach allen Richtungen hin gleich ist, geradeso wie dies in einer ruhenden Flüssigkeit der Fall ist. Der Druck an zwei verschiedenen Stellen ist aber im allgemeinen verschieden groß. Wir wollen von dem Eigengewicht der Flüssigkeit absehen, was darauf hinauskommt, daß wir unter dem Druck, von dem wir hier reden, nur den Unterschied zwischen dem Druck im Bewegungszustand und dem in der Ruhe verstehen. Dieser Unterschied kann positiv oder negativ sein, und wir sprechen in diesem Zusammenhang von „Überdruck" und „Unterdruck". Wenn nun der Druck von irgendeiner Stelle A nach einer Stelle B hin, die beide auf derselben Stromlinie liegen, stetig sinkt, so hat jedes kleine Flüssigkeitsteilchen hinter sich einen etwas größeren Druck als vor sich, es wird daher in der Richtung sinkenden Druckes vorwärts getrieben, beschleunigt. Hatte es bei A bereits eine Geschwindigkeit nach B hin, so wird diese auf dem Wege nach B ständig wachsen; hat es umgekehrt in B eine beträchtliche Geschwindigkeit nach A zu, so wird es durch die entgegenstehenden Druckunterschiede verzögert (es hat dauernd vor sich einen etwas größeren Druck als hinter sich). Wieder ist es so, daß die Geschwindigkeit bei B, wo der Druck kleiner ist, größer ist als bei A. Die rechnerische Durchführung für eine stationäre (d. h. zeitlich gleichbleibende) Strömung in der idealen Flüssigkeit führt zu der Beziehung, daß die Summe aus dem Druck p und der Größe $\varrho \frac{v^2}{2}$ (ϱ = Dichte = Masse der Volumeinheit, v = Geschwindigkeit) auf einer Stromlinie konstant ist. Diese von D. BERNOULLI 1738 aufgestellte

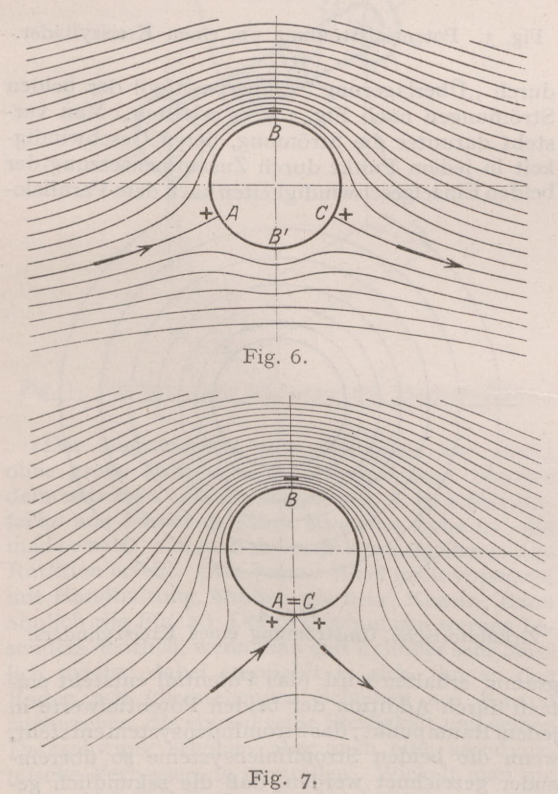


Fig. 6.

Fig. 7.

Fig. 6 u. 7. Zirkulationsströmungen, aus Fig. 3 u. 4 durch Überlagerung entstanden.

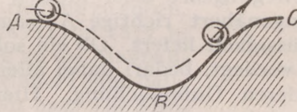


Fig. 8. Kugel unter dem Einfluß der Schwere.

Beziehung, die vielfach „Bernoullisches Theorem" genannt wird, hängt natürlich eng mit dem Energiesatz der Punktmechanik zusammen. Läßt man in einer glatten Rinne, Fig. 8, eine Kugel herunterrollen, so ist am tiefsten Punkt die Geschwindigkeit am größten, am höchsten am kleinsten, und es ist $h + \frac{v^2}{2g} = \text{const}$ (g = Erdbeschleunigung; wie zu erwarten, spielt der Druck bei der Strömung dieselbe Rolle, wie hier die Höhe (h)!

In den stationären Potentialströmungen ist übrigens $p + \varrho \frac{v^2}{2}$ nicht nur längs einer Stromlinie, sondern im ganzen Strömungsgebiet konstant.

Wir wenden diese Kenntnis nun auf die Strömungen von Figg. 3, 6 u. 7 an. Am Punkte A dieser Strömungen kommt die Flüssigkeit für einen Augenblick völlig zur Ruhe, hier muß also nach dem Bernoullischen Theoriem der Druck am größten sein, um $\varrho \frac{V^2}{2}$ größer als in dem ungestörten Strom (wenn V die Geschwindigkeit des ungestörten Stroms relativ zu unserem Körper — oder in anderer Auffassung die Geschwindigkeit des Körpers relativ zur ruhenden Luft — ist). An der Stelle B, wo uns das Zusammendrängen der Stromlinien das Maximum der Geschwindigkeit anzeigt, ist der Druck am kleinsten. Der Druck bei C wieder ist so groß

wie bei A; in der symmetrischen Strömung, Fig. 3, ist auch der Druck bei B' gerade so groß wie bei B, bei den unsymmetrischen Strömungen, Fig. 6 u. 7, dagegen ist der Druck bei B wesentlich kleiner als der bei B', und es ist daher als Gesamtwirkung der Drücke eine Kraft in der Richtung $B'B$ vorhanden, eben die Magnuskraft, für die auch der Name „Quertrieb" vorgeschlagen wurde. Ein Widerstand in der Bewegungsrichtung kann aus der Druckverteilung bei keiner der drei Strömungen abgelesen werden; es hängt dies eng mit der Ersetzung der wirklichen Flüssigkeit durch die ideale Flüssigkeit zusammen, die Überwindung von Widerstand bedeutet Leistung von Arbeit und könnte daher in der idealen Flüssigkeit ein Äquivalent nur in einer in der Flüssigkeit steckenbleibenden kinetischen Energie haben. Wenn die Strömung sich aber hinter dem Körper ebenso schließt, wie sie sich vor ihm geteilt hat, dann ist für eine solche Energie und infolgedessen auch für einen Widerstand kein Platz. Die Rayleighsche Rechnung, und damit auch unsere letzte Überlegung, gilt übrigens nur für einen sehr langen Zylinder, bei dem die Zustände an den Enden nicht in Betracht gezogen werden. Für den kurzen Zylinder ist dies nicht angängig. Es mag hier nur kurz erwähnt werden, daß auch in der idealen Flüssigkeit bei der zirkulatorischen Bewegung an den Zylinderenden kinetische Energie in Form von Wirbeln auftritt, die in der Strömung verbleibt, und daß daher hier ein dieser Energie entsprechender Widerstand auftritt (ein sogenannter induzierter Widerstand, genau wie bei Tragflügeln). Man schließt daraus, und die Versuche bestätigen es, daß der Magnuseffekt nur bei sehr langen Zylindern in annähernd voller Entwicklung beobachtet werden kann, und daß er bei kurzen Zylindern und bei Kugeln nur in einer durch die Wirbel stark beeinträchtigten Form auftritt[1]). Alle älteren Beobachtungen sind aber mit verhältnismäßig kurzen Körpern gemacht worden; die Göttinger Messungen von 1923 sind die ersten mit hinreichend langen Zylindern.

Noch zwei Bemerkungen mögen hier Platz finden. Erstens: Man kann die besprochenen Druckverteilungen noch auf eine andere Weise gut verstehen. Betrachtet man ein Flüssigkeitsteilchen, das sich längs einer gekrümmten Stromlinie bewegt, so wird man leicht erkennen, daß, um das Teilchen in der krummen Bahn zu führen, jeweils eine Kraft auf es ausgeübt werden muß, die es nach der konkaven Seite der Bahnkurve hin ablenkt. Dies geht aber wieder in der Weise vor sich, daß der Druck auf der konvexen Seite etwas größer ist als auf der konkaven. (Man kann auch so sagen, daß das Teilchen in seinem Bestreben, geradeaus zu gehen, auf die konvexe Seite drückt und kann von einer „Zentrifugalkraft" sprechen.) Verfolgt man nun diese Druckunterschiede in Richtungen quer zu den Stromlinien bis zur ungestörten Strömung, wo der Druck ausgeglichen ist, so findet man wieder, daß in der Gegend von A, wo die Stromlinien nach dem Zylinder zu konvex sind, Überdruck, in der Gegend von B aber, wo sie gegen den Zylinder konkav sind, Unterdruck herrschen muß. Daß sich bei quantitativer Auswertung dieser Überlegung genau dieselben Drucke ergeben, wie nach dem Bernoullischen Theorem, ist durch die Verknüpfung gewährleistet, die diese Dinge in den Strömungsgesetzen finden.

Die zweite Bemerkung bezieht sich auf die Größe der Magnuskraft. Lord RAYLEIGH findet durch Ausrechnung der Druckverteilung eine Formel, nach der diese Kraft proportional dem Produkt aus der Geschwindigkeit V des Zylinders relativ zur ungestörten Flüssigkeit und derjenigen U der zirkulatorischen Umströmung nach Fig. 4 ist. Für ein Stück von der Länge l des „unendlich lang" gedachten Zylinders wird sie mit r = Zylinderradius, ϱ = Flüssigkeitsdichte

$$P = \varrho\, V U \cdot 2\pi r l\,.$$

Es ist vielfach der Fehler gemacht worden, diese Umströmungsgeschwindigkeit mit der Umfangsgeschwindigkeit des rotierenden Zylinders zu verwechseln. Der Zusammenhang dieser beiden ist aber weder von vornherein gegeben, noch auch überhaupt einfach; er ist einstweilen nur durch Versuche ermittelbar. In Fig. 6 ist übrigens $U = V$, in Fig. 7 $U = 2\,V$ angenommen.

Die obige Rayleighsche Formel ist übrigens, wie bemerkt sein möge, ein Spezialfall der Formel von JOUKOWSKI (1906)

$$P = \varrho\, V \Gamma l\,,$$

die für alle Fälle gilt, wo eine Strömung eine seitliche Kraft hervorbringt, also für Tragflügel, Segel usw. Γ ist dabei die „Zirkulation", die in der Weise erhalten wird, daß man längs einer beliebigen das krafterzeugende Objekt umschlingenden geschlossenen Kurve jedes Linienstückchen mit der in seine Richtung fallenden Komponente der Geschwindigkeit multipliziert und diese Produkte alle addiert („integriert"). Diese „Zirkulation" hat bei den Potentialströmungen sehr bemerkenswerte Eigenschaften: Bei den gewöhnlichen Potentialströmungen, z. B. Fig. 3, ist sie für jede beliebige geschlossene Kurve gleich Null; bei den zirkulatorischen Potentialströmungen, z. B. Figg. 4, 6 u. 7, ist sie für jede geschlossene Kurve, die das umströmte Objekt nicht umschlingt, ebenfalls gleich Null, für jede das Objekt einmal umschlingende geschlossene Kurve ist sie dagegen konstant, so daß also ihr Wert Γ ein Maß für die zirkula-

[1]) Die in meiner Tragflügeltheorie, II. Mitteilung (Göttinger Nachr. 1919, S. 134) durch Gl. (68) angegebene Auftriebsminderung von der Größe $W \mathrm{tg}\,\delta$ (δ = Winkel zwischen der Windrichtung und der Richtung der wegen ihrer Eigenbewegung schräg liegenden Wirbelachsen, W = induzierter Widerstand) kann bei kurzen Zylindern so groß werden, daß bei Zunahme der Zirkulation (vgl. das Folgende!), der Auftrieb wieder abnimmt oder sogar negativ wird. Diese Erscheinung ist aus der Saugkraft der Wirbel, die in der Richtung der Wirbelachsen wirkt, verständlich.

torische Bewegung wird. Ist in Fig. 4 r der Radius einer beliebigen Stromlinie, so ist die Strömungsgeschwindigkeit u, wenn man als geschlossene Linie die kreisförmige Stromlinie wählt, voll einzusetzen, da sie ja genau in die Richtung des Linienelements fällt, und es wird hier $\Gamma = 2\pi r \cdot u$, woraus wegen der Konstanz von Γ folgt, daß u umgekehrt proportional der Entfernung r sein muß.

Die soeben gewonnene Kenntnis vom Zirkulationsbegriff gibt uns jetzt auch die Möglichkeit, den schon andeutungsweise erwähnten wichtigen Satz von Sir WILLIAM THOMSON genauer zu formulieren. Er lautet, daß in einer *homogenen reibungslosen* Flüssigkeit die Zirkulation längs jeder dauernd aus denselben Flüssigkeitsteilchen bestehenden Linie sich im Verlauf der Zeit nicht ändern kann. Der Satz gilt unter den genannten Bedingungen ganz allgemein, nicht nur für „Potentialbewegungen", sondern auch für beliebig wirbelnde Bewegungen. Wenn man sich nun z. B. einen Zylinder zunächst ohne Drehung bewegt denkt, so ist nach dem bisherigen nirgends Zirkulation vorhanden (die Strömung nach Fig. 3!); wird er jetzt nachträglich in Rotation versetzt, so ist auf keine Weise einzusehen, wie jetzt plötzlich, entgegen dem THOMSONSCHEN Satz, Zirkulation entstehen soll. Die Sache ist also, trotz der an sich recht befriedigenden Stromlinienbilder und Druckverteilungen, vom Standpunkt der idealen Flüssigkeit recht hoffnungslos, da man nicht einsieht, wie die Zirkulation entstehen kann.

Die Lösung für die einfache Umströmung des nicht rotierenden Zylinders, die wir in Fig. 3 kennengelernt haben, ist aber, genau betrachtet, um nichts befriedigender, denn man weiß, daß in einer wirklichen Flüssigkeit ein solcher Zylinder weit davon entfernt ist, keinen Widerstand zu besitzen, und man beobachtet auch in den wirklichen Flüssigkeiten ganz andere Strömungsformen als Fig. 3, nämlich Strömungen, die auf der Rückseite des Zylinders von Wirbeln erfüllt sind. Es wird sich zeigen, daß wir mit der Erklärung der Abweichung der einfachen Strömung mit Widerstand von dem Idealbild der Fig. 3 auch den Schlüssel zur Erklärung des Magnuseffekts in die Hand bekommen.

III.

Der Grund für das Versagen der Theorie der idealen Flüssigkeit diesen Problemen gegenüber kann angegeben werden. Die Reibungskräfte sind in den schwach reibenden Flüssigkeiten, zu denen Wasser und Luft gehören[1]), zwar im Innern der Flüssigkeit so klein, daß sie gegen die Trägheitskräfte vernachlässigt werden können; aber in einer dünnen Schicht unmittelbar an der Oberfläche der eingetauchten Körper oder der festen Wände, werden sie doch von gleicher Größenordnung wie die Trägheitskräfte. Wenn wir uns die Reibung der Flüssigkeit (ihre „Zähigkeit") immer mehr verkleinert denken, so werden die spezifischen Reibungswirkungen in dieser Schicht nicht kleiner, sondern nur die Schicht selbst wird dünner.

Daß eine solche Schicht existieren muß, kann man unschwer einsehen, denn alle messenden Versuche über das Verhalten reibender Flüssigkeiten zeigen einwandfrei, daß die an den Körper unmittelbar angrenzende Schicht an ihm haftet, d. h. relativ zu ihm in Ruhe ist. Die nächsten Schichten schieben sich übereinander weg, so daß die Geschwindigkeit jeder weiter entfernten Schicht größer ist als die der näher an der Wand liegenden Schicht. Es ergibt sich also eine den Körper oder die Wand einhüllende Zone, in der sich der Übergang von der Geschwindigkeit Null an der Wand bis zur Geschwindigkeit der von der Reibung nicht beeinflußten, freien Strömung vollzieht. Dieser Übergang wird durch Reibungskräfte vermittelt, und zwar sind diese, auf das Volumenelement berechnet, von der gleichen Größenordnung wie die durch die Trägheitswirkung der freien Flüssigkeit hervorgerufenen Druckkräfte, da ja die Geschwindigkeiten in der Reibungszone sich um endliche Beträge von denen in der freien Flüssigkeit unterscheiden. Die Art der Geschwindigkeitsverteilung in der Reibungszone wird durch Fig. 9 veranschaulicht. Ihre „Dicke" δ kann dabei praktisch zu $^1/_{50}$ bis $^1/_{300}$ des Zylinderdurchmessers angenommen werden, je nach der größeren oder kleineren Zähigkeit[1]).

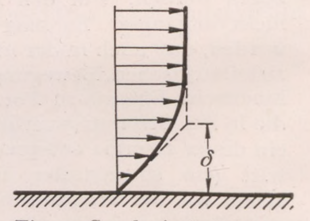


Fig. 9. Geschwindigkeitsverteilung in Nähe der Wand.

Die nächste Frage ist nun offenbar die nach den Bewegungsgesetzen der Flüssigkeit in der Reibungszone, die von den Fachleuten gewöhnlich „Grenzschicht" genannt wird (eine nicht ganz glückliche Bezeichnung, die wir aber doch anwenden wollen, da sie eingeführt ist). Diese Gesetze sind der Berechnung ziemlich weitgehend zugänglich, doch sind die Rechnungen ziemlich schwieriger Art.

Die wichtigsten Ergebnisse lassen sich aber auch durch qualitative Betrachtungen verständlich machen. Die Teilchen in der „Grenzschicht" unterliegen einerseits wie die der freien Flüssigkeit den beschleunigenden und verzögernden Druckunterschieden, andererseits der bremsenden Reibung an der Wand. Was aus dem Wechselspiel der beiden Kräfte entsteht, wollen wir uns an Hand eines konkreten Beispiels überlegen. Wir wählen dazu den Beginn der Bewegung eines Kreiszylinders aus der

[1]) Stark reibende sind z. B. Schmieröl, flüssiger Leim u. dgl.

[1]) Das richtige Maß ist die Reynoldssche Zahl $\mathfrak{R} = \frac{V\,d}{\nu}$, mit $\nu = \frac{\eta}{\varrho}$ = kinematische Zähigkeit (η = Zähigkeitsmaß, d = Zylinderdurchmesser). Es ist $\frac{\delta}{d} \sim \frac{1}{\sqrt{\mathfrak{R}}}$.

Ruhe heraus[1]). Für die freie Flüssigkeit gelten mit hinreichender Genauigkeit die Sätze für die ideale Flüssigkeit. Da, wie vorausgesetzt, zu Anfang alles in Ruhe war, ist für jede geschlossene Linie die Zirkulation zunächst gleich Null und muß für die durch dieselben Flüssigkeitsteilchen gelegten Linien dauernd Null bleiben. Es ist also zunächst, gleichviel, ob der Zylinder bei der Ingangsetzung auch zu rotieren beginnt oder nicht, nur die Potentialströmung ohne Zirkulation möglich, also die nach Fig. 3, die nach Früherem diese Eigenschaft hat. Wir wollen annehmen, daß der Zylinder *nicht* rotiert und studieren jetzt die Verhältnisse in der Reibungszone. Wenn die Beschleunigung, während der abgeänderte Druckverhältnisse herrschen, vollzogen ist, und der Zylinder sich gleichförmig bewegt, ist bei A und C in Fig. 3, wie früher besprochen, hoher Druck, bei B niedriger Druck. Die Teilchen der freien Strömung gewinnen auf dem Wege von A nach B kinetische Energie und zehren diese auf dem Weg von B nach C gerade wieder auf. Die Teilchen in der Grenzschicht aber büßen durch die Reibung an der Wand einen Teil ihrer kinetischen Energie ein, sie haben nun nicht mehr genug Schwung, um in das Gebiet hohen Druckes bei C einzudringen, sie kommen vielmehr zum Stehen und kehren unter dem Druckgefälle, das von C nach B hin besteht, um. Die Verhältnisse sind dieselben wie bei einer Kugel auf der Wellenbahn Fig. 8, die auf ihrem Wege durch irgendeine Reibung etwas gebremst worden ist; sie wird unterhalb C, das sie nicht mehr erreichen kann, umkehren, und zurückpendeln. Bei der Grenzschichtströmung liegen die Dinge dadurch noch etwas anders als bei der rollenden Kugel, daß — was ich bisher übergangen hatte — von der freien Flüssigkeit her auf die Grenzschicht eine vorwärtstreibende Kraft ausgeübt wird. Diese bewirkt unter anderem, daß die rückläufige Bewegung etwas geringeren Umfang einnimmt, als es sonst der Fall wäre[2]).

Im einzelnen ergibt sich nun folgendes: Die am meisten gebremsten inneren Schichten kehren zuerst um, die nächsten folgen ihnen; nur die äußersten Schichten der Reibungszone werden von der äußeren Strömung darüber weggeschleppt. Da nun die Grenzschicht von B her immer neues gebremstes Material nachliefert, das ebenfalls umkehrt, so entsteht zwischen B und C ein sich mehr und mehr verdickender Knäuel von durch die Reibung in Drehung versetzter Flüssigkeit, die sich unter dem Druckgefälle nach B zu bewegt und nun, mit der vorwärtsgerichteten Strömung zusammenprallend, als „Wirbel" in die freie Flüssigkeit, hinausgestoßen wird. So vollzieht sich allmählich, ausgehend von den unscheinbaren Vorgängen in der Grenzschicht, eine völlige Umgestaltung der Strömung. Diese löst sich jetzt in der Nähe von B unter Bildung von immer neuen Wirbeln völlig von der Wand ab, und läßt zwischen sich und der Wand ein Gebiet mit unregelmäßigen schwachen Bewegungen zurück.

Einige Bilder, die ich vor zwanzig Jahren, wo ich mich zuerst mit diesen Dingen beschäftigte, mit einem primitiven Apparat angefertigt habe, mögen den Vorgang veranschaulichen. In einem kleinen Gerinne fließt, von einem Schaufelrad in Umlauf versetzt, Wasser, in dem sich eine Aufschlämmung von Eisenglimmer befindet. Es ist dies ein aus feinen glänzenden Blättchen bestehendes rotes Mineral, das bei wirbelnden Wasserbewegungen durch Bevorzugung verschiedener Orientierungsrichtungen der einzelnen Teilchen in verschiedenen Gebieten des Wirbels starke Unterschiede in der Reflexion des Sonnenlichtes ergibt. Die Fig 10, 11 u. 12 geben drei verschiedene Zustände der Strömung um einen Zylinder, die erste nach einem sehr kurzen Wege, die zweite nach einem ein wenig längeren, die dritte nach einem noch längeren. Fig. 13 gibt den Dauerzustand der sich durch eine pendelnde Bewegung des Wirbelschweifes auszeichnet.

Daß übrigens die Vorgänge in der Grenzschicht wirklich die Ursache der Wirbelbildung sind, dafür habe ich, ebenfalls damals vor 20 Jahren, in folgendem Versuch den schlagenden Beweis führen können. Ordnet man nämlich in der Gegend, wo die Rückströmung zuerst auftritt, einen Schlitz in dem Zylinder an, durch den dauernd etwas Wasser abgesaugt wird, so kann man dadurch das gebremste Flüssigkeitsmaterial entfernen, bevor es in Rückwärtsbewegung kommt. Die Wirkung, die in Fig. 14 u. 15 dargestellt ist — man erkennt den in das Innere des Zylinders hineingesenkten Gummischlauch, der als Heber wirkt —, ist nun in der Tat die, daß auf der Seite des Zylinders, wo abgesaugt wird, der Wirbel, und auch die Ablösung der Strömung, ausbleibt! Bemerkenswert ist hier noch, daß die Ablösung der Strömung, die am Zylinder verhindert ist, dafür an der geraden Kanalwand eintritt.

Die Bedingung für die Ablösung ist eben nicht in der konvexen Form der Wand, wie sie beim Zylinder vorhanden ist, begründet, sondern darin, daß ohne die Ablösung die Strömung eine starke Verzögerung erfahren würde (die mit einem Druckanstieg verknüpft wäre). Wenn die übrigen Umstände so liegen, daß ein solcher Druckanstieg an einer geraden Wand auftreten müßte, so entsteht auch hier Rückströmung, dann der Wirbel und schließlich das Abschwenken der Strömung von der Wand. Es sei noch darauf aufmerksam gemacht, daß der Beginn der Wirbelbildung an der Kanalwand bereits in Fig. 14 angedeutet ist (bei a).

[1]) Derartige Aufgaben sind nur in der Art lösbar, daß man von einem Zustand ausgeht, für den man die Geschwindigkeiten aller Teilchen angeben kann. Der einfachste derartige Zustand ist der der vollkommenen Ruhe.

[2]) Bei in der Strömungsrichtung sehr lang gestreckten Körpern kann die vorwärtstreibende Kraft das rückwärtstreibende Druckgefälle überwigen. Dann bleibt die Wirbelbildung aus und der Widerstand besteht nur noch aus Reibung. Beispiele: Fischform, Luftschiff, gewöhnliche Tragflügel.

Hätte man an der Wand auch einen Schlitz angebracht, so hätte man die Ablösung auch hier vermeiden oder wenigstens sehr zurückdrängen können, so daß jetzt der Druckanstieg und die Verzögerung der Strömung dauernd hätten erhalten bleiben können[1]).

Beobachtungen über rotierende Zylinder habe ich damals nicht angestellt. Aus äußeren Gründen

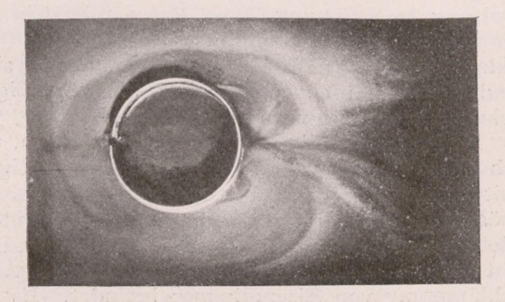


Fig. 10.

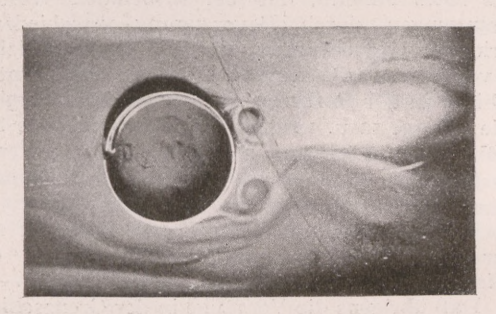


Fig. 11.

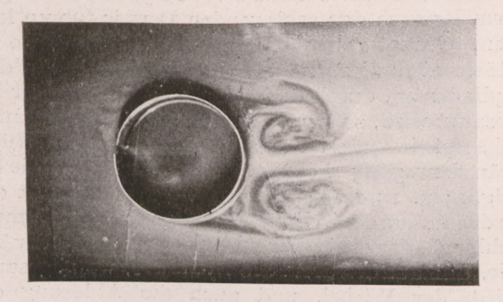


Fig. 12.

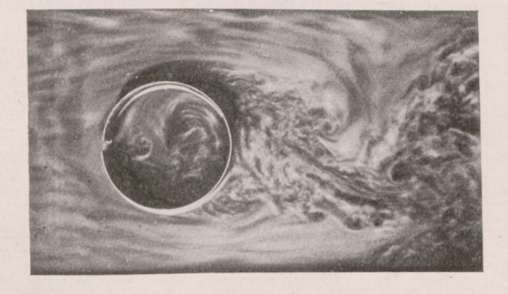
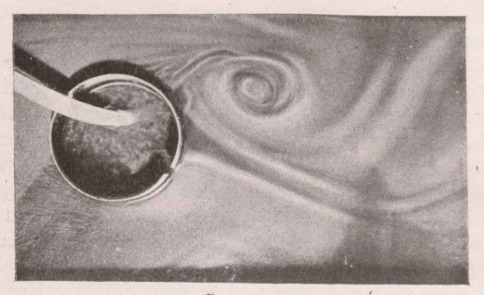


Fig. 13.

Fig. 10—13. Strömung um einen Kreiszylinder in verschiedenen Entwicklungsphasen.



a

Fig. 14.

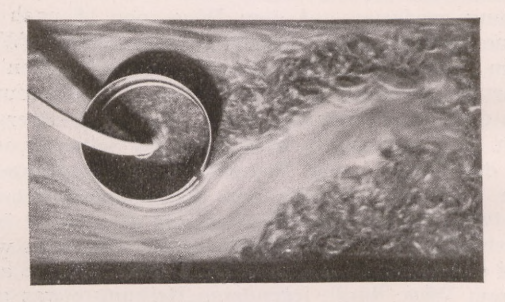


Fig. 15.

Fig. 14—15. Strömung um den abgesaugten Zylinder.

— ich siedelte im Herbst 1904 von Hannover, wo ich die erwähnten Versuche gemacht hatte, nach Göttingen über und hatte hier zunächst andere Aufgaben, mußte auch erst wieder eine Versuchseinrichtung ähnlich derHannoverschen schaffen — kam ich erst mehrere Jahre später wieder zu Wasserversuchen (von 1907 an) und untersuchte jetzt u. a. die Strömung um zwei gegenläufige Zylinder, die sich berührend, nebeneinander im Wasserstrome standen; hier war zu erwarten, daß bei genügender Umlaufsgeschwindigkeit der Zylinder die Wirbelbildung und die Ablösung der Strömung ebenfalls ausblieb, da hier durch die Reibung an der Wand, die ja mit der Strömung mitlief, die Flüssigkeit nicht verzögert, sondern höchstens beschleunigt

[1]) In letzter Zeit sind in der von mir geleiteten Versuchsanstalt die Versuche mit Absaugung an der Wand wieder aufgenommen worden. Es zeigt sich, daß man bei Anordnung von vielen feinen Schlitzen durch Absaugung von relativ geringen Flüssigkeitsnmengen eine große Reihe von Strömungen herstellen kann, die sehr stark von dem Gewohnten abweichen (so z. B. Ablenkung eines freien Luftstroms um 180° durch Absaugung in der Hohlkehle). Es ist klar, daß Anwendungen des Absaugeverfahrens auf alle möglichen Fälle, wo eine Ablösung vermieden werden soll, also z. B. auf Tragflügel, Segel, Turbinen- und Propellerschaufeln, auf Schiffskörper, Schiffsruder, auf Turbinensaugrohre, Diffusoren usw. möglich sind.

wurde. Das Experiment gab dieser Überlegung recht. Die Wände des Versuchsgerinnes und auch der Boden waren vom mitlaufenden Tüchern bedeckt, so daß auch hier Ablösung vermieden werden sollte. Doch brachten diese über Rollen laufenden Tücher sonst viel Störung. Eine Aufnahme einer solchen Strömung ist in Fig. 16 wiedergegeben[1]). Gelegentlich dieser Versuche ist auch einmal ein einzelner rotierender Zylinder untersucht worden, ohne daß allerdings damals viel Gewicht auf diese Sache gelegt worden wäre. Fig. 17 gibt die einzige erhalten gebliebene Aufnahme wieder. Diese Aufnahme, die nach der von Prof. AHLBORN in Hamburg ausgearbeiteten Methode durch Aufstreuen von Bärlappsamen auf das Wasser und Blitzlichtbeleuchtung gemacht sind, waren technisch sehr unvollkommen. Später haben wir die Aufnahmetechnik sehr verbessern können. Fig. 18—21 zeigt eine von H. RUBACH hergestellte Bilderreihe aus dem Jahre 1913/14, die die Ablösungsvorgänge an Kreiszylindern sehr klar wiedergeben. Man sieht, wie zunächst Potentialströmung vorhanden ist; nur in einer schmalen Zone zeigt sich die beginnende Rückströmung. Das Wirbelpaar wächst nun rasch heran, gibt seinerseits da, wo es den Zylinder berührt, Anlaß zu sekundären Ablösungserscheinungen und Wirbeln. Später ist es von solchen Sekundärwirbeln völlig durchsetzt und wird immer unregelmäßiger, fällt schließlich um, um einer pendelnden Strömung mit Bildung immer neuer Wirbel Platz zu machen. — Aufnahmen von Strömungen an rotierenden Zylindern sind damals nicht gemacht worden. In einiger Zeit hoffe ich solche, wie auch solche an Absaugeströmungen, nachholen zu können.

Was nun die Erklärung für die Entstehung der Zirkulationsströmung am rotierenden Zylinder betrifft, die uns zu einer befriedigenden Theorie des Magnuseffekts noch fehlte, so ist diese durch die vorausgehenden vorbereitenden Darlegungen sehr einfach geworden. Bei genügend starker Rotation kommt auf der mitlaufenden Seite keine Verzögerung und daher auch keine Wirbelablösung zustande, auf der gegenläufigen Seite dagegen bildet sich der Wirbel, ähnlich wie bei dem Zylinder mit Absaugung. Für eine den Zylinder und den Wirbel zusammen umschlingende, ganz in der freien Strömung verlaufende Linie — *a b c d a* in Fig. 22 — ist die Zirkulation noch immer gleich Null; fügt man die zweimal in entgegengesetztem Sinn durchlaufene Linie *b d* hinzu, so wird dadurch

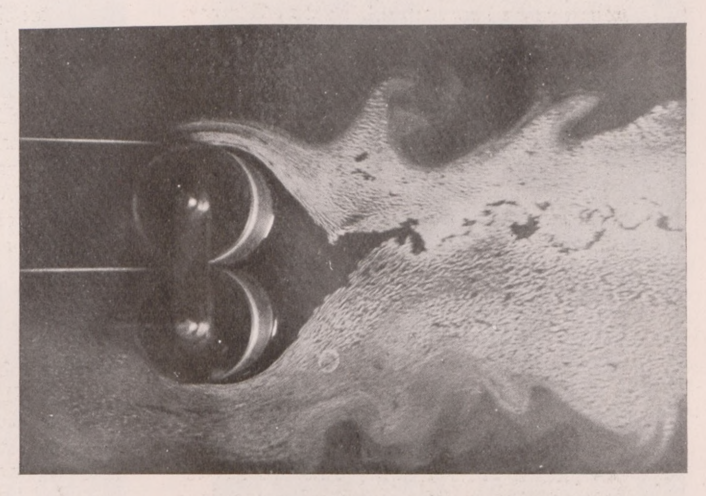


Fig. 16. Zwei gegenläufig rotierende Zylinder.

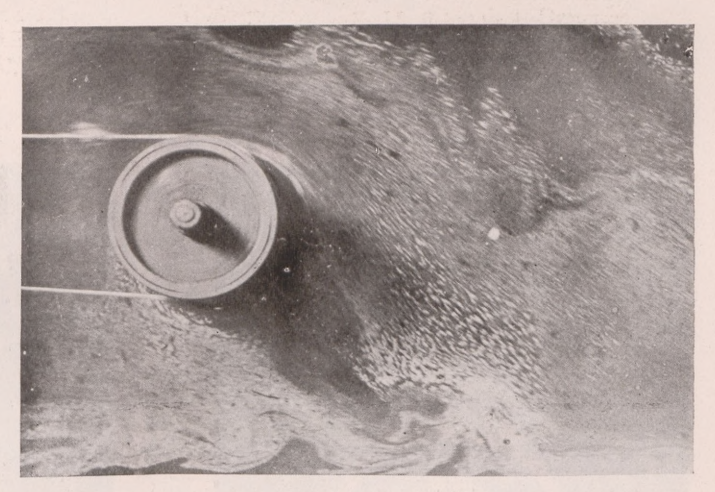


Fig. 17. Ein rotierender Zylinder.

nichts geändert, da der Hinweg den Herweg gerade aufhebt. Aus den betrachteten Wegen lassen sich aber zwei neue geschlossene Wege herstellen: *a b d a* und *c d b c*. Die letztere Linie, die den Wirbel für sich allein umschlingt, hat aber Zirkulation, also muß die den Zylinder umschlingende Linie *a b d a* die entgegengesetzt gleiche Zirkulation haben. Der Wirbel schwimmt mit der Strömung fort und die Zirkulation um den Zylinder bleibt[1]).

[1]) Die kleinen Wirbelchen hinter dem Zylinderpaar stammen aus der hier rascher als die übrige Strömung laufenden Grenzschicht und haben mit die Ablösung erzeugenden Wirbeln nichts zu tun. Ähnlichen Ursprungs sind die von den schneller als das Wasser laufenden Wänden hervorgerufenen wolkigen Störungen zu beiden Seiten des mit Lykopodium bedeckten Stromes.

[1]) Man beachte, daß der Thomsonsche Satz in der Reibungszone *nicht* gilt, daher können geschlossene Linien, die irgendwo Flüssigkeitsmaterial durchsetzen,

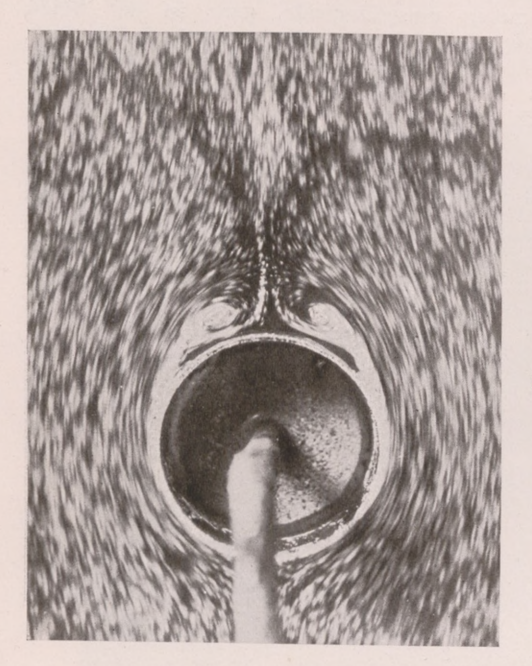


Fig. 19.

Fig. 21.

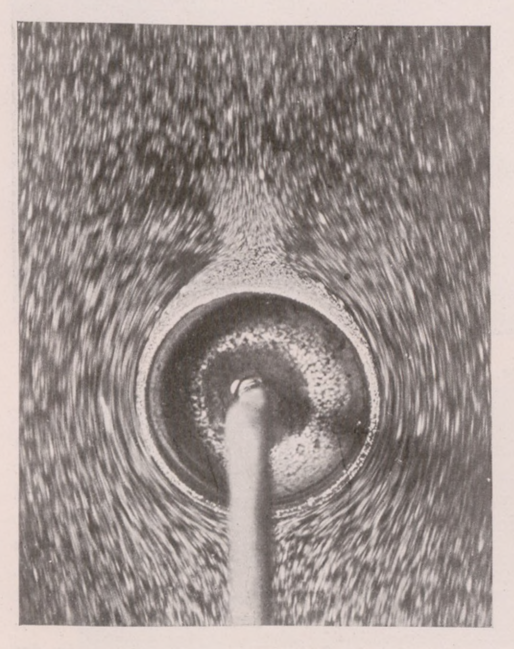


Fig. 18.

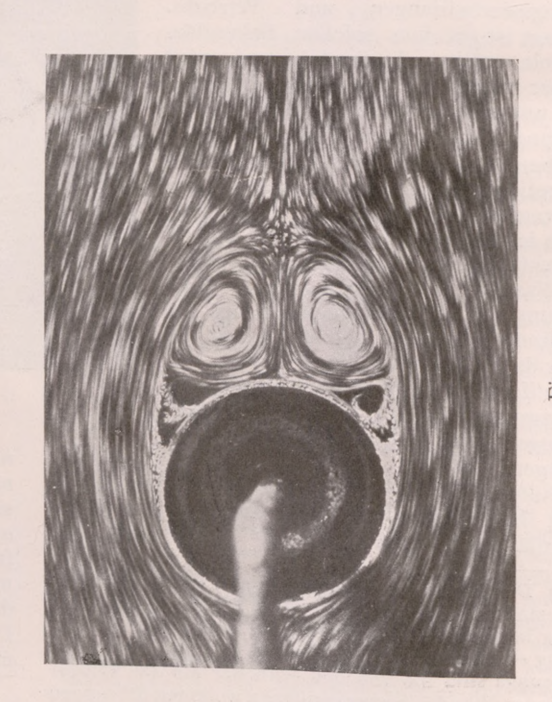


Fig. 20.

Fig. 18—21. Wirbelausbildung am Zylinder. Aufnahmen von H. RUBACH.

Bei schwacher Rotation des Zylinders wird nur der eine der beiden Wirbel kleiner, der andere größer als beim nicht rotierenden Zylinder. Die Zirkulation um den Zylinder wird hier gleich der Differenz der Zirkulationen der abgehenden Wirbel.

Um einem verbreiteten Irrtum zu begegnen, sei hervorgehoben, daß die kinetische Energie der zirkulatorischen Strömung mit der Luftreibungsarbeit, die der Zylinder bei der Rotation überwinden muß, nichts zu tun hat. Wie mein Mitarbeiter, Dipl.-Ing. Ackeret gezeigt hat (in einer bisher unveröffentlichten Untersuchung), hat der Zylinder während der Ausbildung der Zirkulation bei seiner Fortbewegung einen Widerstand zu überwinden; die zugehörige Arbeit ist das Äquivalent der entstehenden Strömungsenergie

Die Luftreibung hat lediglich eine auslösende Wirkung; sie bewirkt nur, daß, wenn z. B. die Zirkulation durch Änderung der Drehgeschwindigkeit des Zylinders oder der Windgeschwindigkeit dem „Normalzustand" nicht mehr entspricht, solange mehr Wirbel des einen Drehsinnes als solche des anderen produziert werden, bis durch deren Abwandern eine dem augenblicklichen Zustand entsprechende Zirkulation entstanden ist.

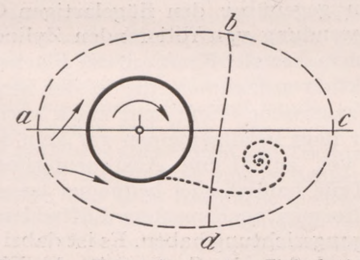


Fig. 22. Entstehung der Zirkulation.

Wir wollen uns nun vom Standpunkt unserer Kenntnis über das Verhalten der Grenzschicht die Strömung von Fig. 7 noch einmal genauer ansehen. Die Strömung umkreist hier den Zylinder in einheitlichem Sinne. Wird der Zylinder mit einer Umfangsgeschwindigkeit angetrieben, die größer als die größte Strömungsgeschwindigkeit ist, so erleidet die Grenzschicht nirgends eine Bremsung, sie wird vielmehr überall vorwärts gerissen, und es ist daher eine Wirbelablösung nach Erreichung der zu dieser Strömung gehörigen Zirkulation nicht mehr zu erwarten. Wir schließen daraus, 1. daß in einem solchen Fall das Strömungsbild der Fig. 7 wirklich angenähert erreicht wird, 2. daß der zugehörige Quertrieb das theoretische Maximum darstellt[1]). Wie groß muß nun die Umfangsgeschwindigkeit des Zylinders sein, damit dieser Zustand eintritt? Zunächst ergibt die Theorie für das Geschwindigkeitsmaximum der Strömung nach Fig. 3 (bei B und B') den Wert $2\,V$; die Umlaufsgeschwindigkeit U der Zusatzströmung nach Fig. 4 ist demnach ebenfalls $= 2\,V$, so daß bei B und B' die Geschwindigkeiten $4\,V$ und 0 entstehen; also gilt die obige Betrachtung für Zylinderumfangsgeschwindigkeiten u, die größer als $4\,V$ sind. Indes ist zu erwarten, daß man auch noch um einiges unter den Wert $4\,V$ heruntergehen darf, da eine geringe Bremsung an der Stelle der maximalen Strömungsgeschwindigkeit offenbar keinen Schaden anrichten kann, da sie durch den Antrieb an den Stellen geringerer Strömungsgeschwindigkeit ausgeglichen wird.

Nach unseren früheren Rechnungen im Abschnitt II kann nun auch die maximale theoretische Kraft angegeben werden. Es ist $\Gamma = 2\pi r U = 4\pi r V$, also

$$P_{\max} = 4\pi\varrho V^2 r l\,.$$

Um auf die bei den Aerodynamikern übliche Zahl c_a („Auftriebszahl"[1]]) zu kommen, dividieren wir P mit der Ansichtsfläche des Zylinders $F = 2\,rl$ und mit dem Staudruck $q = \varrho\frac{V^2}{2}$ und erhalten

$$(c_a)_{\max} = \frac{P}{F\,q} = 4\pi = 12{,}57\ ^{2)}.$$

Es mag hier angemerkt werden, daß diese Widerstandszahl etwa zehnmal so groß ist als diejenigen Werte, die bei gewöhnlichen Flugzeugtragflächen erreicht werden. Dies hängt damit zusammen, daß die Strömung bei dem rotierenden Zylinder in sehr viel stärkerem Maße abgelenkt wird, als eine Tragfläche dies vermag. Wenn wir die Druckverteilung der Strömung von Fig. 7 studieren, so liefert uns das Bernoullische Theorem die Antwort, daß an der Stelle $A = C$ gegenüber der ungestörten Strömung ein Überdruck vom Betrage des einfachen „Staudrucks" $\varrho\frac{V^2}{2}$ herrscht; an der Stelle B dagegen, wo die Geschwindigkeit $v = 4\,V$ ist, ist der Druck um den 16fachen Staudruck niedriger als bei A, der Unterdruck dort gegenüber dem Druck der ungestörten Strömung ist also gleich dem 15fachen des Staudruckes. Der weit überwiegende Anteil an der Quertriebskraft wird also durch Saugwirkungen erzielt! Dies wird bei der Betrachtung von Fig. 7 auch sehr sinnfällig, wenn man an die Zentrifugalwirkungen in der Flüssigkeit denkt, die

---

das aus der Reibungszone stammt, einer von Null verschiedenen Zirkulation haben.

[1]) Dieser Schluß ist dadurch nicht ganz zwingend, daß vom Zylinder mitgerissene Flüssigkeitsteile durch Zentrifugalwirkung abgeschleudert werden und die Umgebung in umlaufender Strömung versetzen können, wodurch die Zirkulation noch etwas über den der Fig. 7 entsprechenden Betrag hinaus gesteigert werden kann. Doch kann diese Wirkung nicht sehr bedeutend sein, so daß die obige Behauptung angenähert richtig bleiben dürfte; sie wird auch durch die weiter unten erwähnten Versuche gestützt.

[1]) Die Bezeichnung stammt aus der Flugtechnik, wo die Kraft, die dem Quertrieb des Segels entspricht, „Auftrieb" heißt.

[2]) In Tageszeitungen ist ohne mein Verschulden verbreitet worden, daß ich diese Angabe bereits 1904 besessen hätte. Dies trifft nicht zu. Ich vermag die Sache selbst nicht mehr genau zu datieren; ich vermute aber, daß ich sie um 1918 zuerst erkannt habe.

offenbar in dem Teil über dem Zylinder sehr bedeutend sind[1]).

IV.

Versuche mit rotierenden Zylindern, Kugeln und anderen Körpern standen schon seit langem auf der Liste von Forschungsaufgaben der mir unterstellten ,,Aerodynamischen Versuchsanstalt", und sie waren uns durch die oben erwähnten theoretischen Überlegungen, die eine Prüfung wünschenswert erscheinen ließen, von neuem nahegebracht worden; jedoch hatten immer dringendere Aufgaben vorgelegen, die die Inangriffnahme hinauszuschieben zwangen. Den entscheidenden Anstoß gab schließlich der Umstand, daß wir im Frühjahr 1923 in den Besitz von sehr schnell laufenden kleinen Elektromotoren gelangten, die mein langjähriger verdienstvoller Mitarbeiter Dr. BETZ für den Antrieb der Schrauben von Flugzeugmodellen entwickelt hatte[2]). Dies veranlaßte Herrn ACKERET, der allen Fragen, die mit den Grenzschichten zusammenhängen, das stärkste Interesse entgegenbrachte, nunmehr auch den rotierenden Zylinder zu untersuchen. Um die Verhältnisse im einzelnen möglichst denen, die in der Theorie angenommen werden, anzunähern, wurde der Zylinder zwischen zwei parallele Wände gestellt (der Strömungsvorgang sollte dadurch in allen Ebenen parallel zu den beiden Wänden der gleiche werden, und es sollten die schädlichen Umströmungen an den Zylinderenden vermieden werden). Die Umfangsgeschwindigkeit wurde bis zum Vierfachen der Windgeschwindigkeit gesteigert, aber zunächst blieb das höchste erreichbare c_a etwa = 4, statt des theoretischen Wertes 12,57. Ein Abtasten der Strömung belehrte uns bald, daß nur der mittelste Teil des Zylinders richtig arbeitete, an den Seiten aber die Strömung nicht an ihm haften blieb und daher auch nur wenig abgelenkt wurde. Ich schrieb diese Abweichung von der erwarteten Strömung einer Ablösung des Luftstroms an den beiden Wänden zu, die der Ablösung von der Seitenwand in Fig. 15, entspräche. Zu ihrer Vermeidung schlug ich vor, an den Zylinderenden Scheiben anzubringen, die mit dem Zylinder umlaufen sollten, und durch die somit die Bremsung der Grenzschicht an den kritischen Stellen vermieden werden sollte (vgl. Fig. 23). Der erwartete Effekt trat denn auch ein. Die Strömung lag bis zu den Wänden hin am Zylinder an, und die Widerstandszahl c_a wuchs auf etwa 10, unter ungefähr rechtwinkliger Ablenkung des 20 cm hohen Luftstroms durch einen Zylinder von 4 cm Durchmesser. Damit konnte man sehr zufrieden sein, denn wegen verschiedener durch die Reibung hervorgerufener Abweichungen konnte ein volles Erreichen der Zahl 12,57 gar nicht erwartet werden.

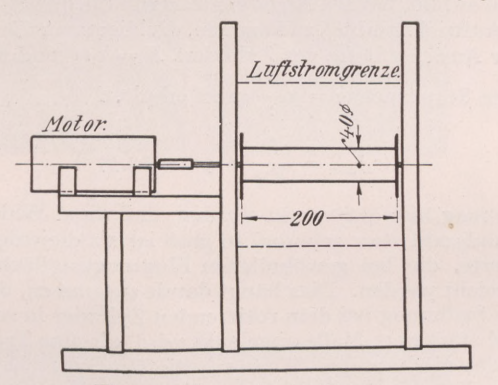


Fig. 23. Versuchseinrichtung.

Über die Verwendungsmöglichkeiten des rotierenden Zylinders hatten wir bereits gelegentlich des theoretischen Resultats Überlegungen angestellt, sahen aber bei keiner von uns in Erwägung gezogenen Verwendung. (Flugzeugflügel, Propeller[1]), Windmühlenflügel, Turbinenschaufeln usw.) irgend einen praktischen Gewinn. Ich habe meine Ansicht darüber bis heute noch nicht geändert. Man kann gegenüber den flügelartigen Gebilden durch Anwendung von rotierenden Zylindern, da diese 8—10 mal so viel Kraft auf der Flächeneinheit der Projektion aufnehmen, die in der Strömungsrichtung gemessene Tiefe sehr stark vermindern, aber dafür liegt in allgemeinen gar kein so großes Interesse vor, zumal eine Ausführungsform ohne bewegte Teile baulich viel bequemer ist und gute Tragflügelformen auch weniger Luftwiderstand in der Bewegungsrichtung haben. Es ist dabei wichtig, zu betonen, daß an der Spannweite des Flugzeugs, an dem Durchmesser der Windmühle usw. bei Ersatz der Flügel durch rotierende Zylinder nichts gespart werden kann, da die Leistungsgrenzen dieser Apparate wesentlich von der sekundlich erfaßten Luftmenge abhängen, diese aber hauptsächlich durch die Spannweite bzw. den Durchmesser bestimmt ist.

Den Fall des Schiffssegels, wo die Verhältnisse anders liegen und sich für den rotierenden Zylinder viele Vorteile ergeben, hatten wir damals leider nicht in Erwägung gezogen. Dies blieb Herrn A. FLETTNER, dem bekannten Erfinder des ,,Flettner-Schiffsruders" vorbehalten. Er hatte in der mir unterstellten Anstalt schon früher verschiedene Versuche zur Klärung der Eigenschaften seines Ruders ausführen lassen, und war dann dazu übergegangen, den Gedanken seines Ruders[2]) auf

[1]) Auch bei gewöhnlichen gewölbten Flugzeugtragflächen überwiegt die Saugwirkung auf der Oberseite die Druckwirkung auf die Unterseite, wenn auch nicht in so extremem Maße wie beim rotierenden Zylinder.

[2]) Vgl. ACKERET, Zeitschr. f. Flugtechnik u. Motorluftschiffahrt 1924, S. 101.

[1]) Einen Propeller mit rotierenden Zylindern hatte schon Prof. GÜMBEL in Berlin 1918 im Modell ausprobiert.

[2]) Dieses Ruder unterscheidet sich von dem gewöhnlichen Steuerruder eines Schiffes dadurch, daß es wie eine Windfahne frei auf seiner Achse spielt und nicht durch eine Rudermaschine gewaltsam gedreht wird, sondern durch ein kleines an seiner Hinterkante angebrachtes Hilfsruder gesteuert wird, wobei das Hilfs-

das Segelschiff zu übertragen. Dieses hatte in wirtschaftlicher Hinsicht gegenüber dem Dampfer und dem Dieselmotorschiff allmählich einen sehr schweren Stand bekommen, hauptsächlich durch die Notwendigkeit einer großen Mannschaft zur Bedienung der Segel und durch die häufigen Erneuerungsarbeiten an der Takelung. FLETTNER wollte daher Metallsegel einführen, die ähnlich wie die Tragflächen von Metallflugzeugen gebaut werden sollten und unter Zuhilfenahme von Windfahnen und Hilfsrudern automatisch jeweils die richtige Stellung zum Wind einnahmen. Schwierig war allerdings die Sturmfrage. Metallsegel konnten nicht gerefft werden, aber sie konnten durch Einstellung des Hilfruders immer genau in die Windrichtung gebracht werden, so daß sie keinen Seitendruck erfuhren. Wie aber, wenn im Sturm das Hilfsruder havariert wurde, und in einer Stellung stehen blieb, in der die Segel Volldruck erfuhren?! Es kam die weitere Enttäuschung dazu, das ein zum Vergleich untersuchtes Schiffssegel der alten Art zeigte, daß die bisherigen Segel bei richtiger Einstellung zum Wind gar nicht so schlecht waren, als man anzunehmen geneigt war, sondern Kräfte hervorbrachten, die etwa 80% derjenigen von gleich großen Metallsegeln erreichten. Die Metallsegel mußten also, um die alten Segel vollwertig zu ersetzen, recht groß werden! Herr FLETTNER war daher auf der Suche nach anderweitigem Ersatz. Als ihm von den Göttinger Versuchen mit dem rotierenden Zylinder berichtet wurde, entschloß er sich rasch, die Verwendbarkeit solcher Zylinder für sein Segelschiff untersuchen zu lassen und trat dieserhalb mit uns in Verbindung. Auf Grund unserer Vorarbeiten konnten wir ihm gleich diejenige Form als günstigste vorschlagen, die dann auf dem Schiff zur Verwendung kam. Diese Form mußte nach dem oben Dargelegten langgestreckt sein, ferner waren an den beiden Enden überstehende Scheiben anzubringen. Die obere freie Scheibe hatte dabei etwas andere Aufgaben als die früher besprochenen Scheiben vor den Wänden. Ohne sie würde Luft von der Stirnseite des Zylinders her in das Unterdruckgebiet eindringen und so die Zirkulationsströmung auf einen beträchtlichen Teil der Zylinderlänge zerstören, und zwar um so mehr, je höher anderenfalls der Unterdruck gewesen wäre. Natürlich mußte die Scheibe mit umlaufen, damit nicht die früher besprochene Ablösung an ihr eintrat. Die Scheiben hatten noch den weiteren Vorteil, der sich in den Versuchen deutlich nachweisen ließ, daß durch sie der induzierte Widerstand verringert wird, indem der Randwirbel in zwei von den Scheibenrändern abfließende

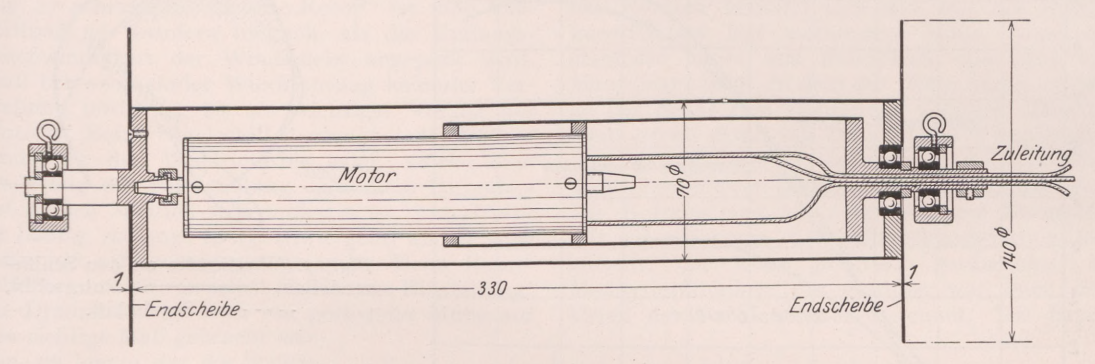


Fig. 24. Rotierender Zylinder mit eingebautem Motor.

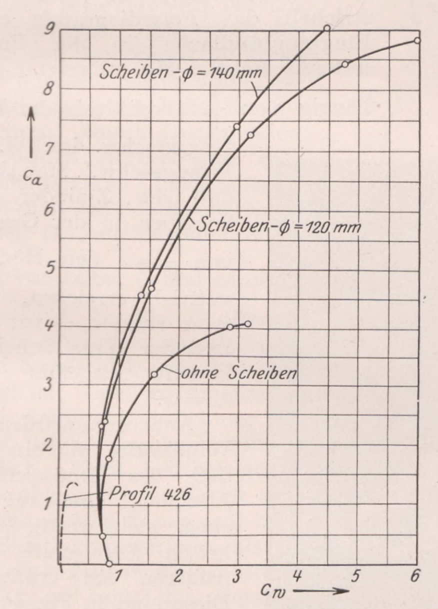


Fig. 25. Polarkurve: c_a = Auftriebszahl, c_w = Widerstandszahl.

ruder dem Hauptruder gegenüber dieselbe Rolle spielt, wie das gewöhnliche Ruder gegenüber dem Schiff. Die zum Steuern notwendigen Kräfte werden auf diese Weise selbst bei sehr großen Schiffen sehr klein, außerdem ist auch bei schwerer See die Steuerwirkung viel stetiger, da das Ruder den wechselnden Strömungen folgen kann. Man vergleiche hierüber auch Naturw. **12**, 1106, 1924 (E. FÖRSTER, Die neuere Entwicklung des Schiffsantriebs).

Wirbel aufgeteilt wird, was ähnlich wirkt, wie der Übergang vom Eindecker zum Doppeldecker[1]).

Es ist nun noch kurz von den weiteren Versuchen zu berichten. Zunächst wurde ein Zylinder mit innen eingebautem Elektromotor untersucht (Fig. 24), und zwar einmal ohne Scheiben und dann mit zwei Scheibenpaaren von verschiedenem Durchmesser. Fig. 25 zeigt die zusammengehörigen Werte von Auftriebszahl c_a und Widerstandszahl c_w[1]) in Form eines „Polardiagramms"; dazu gestrichelt das Polardiagramm einer Flugzeugtragfläche (in der linken unteren Ecke). Fig. 26 zeigt c_a abhängig von $\frac{u}{V}$ (Verhältnis der Umfangsgeschw. des Zyl. zur Windgeschw.). Man sieht, daß die Zylinder mit Scheiben in der Gegend von $\frac{u}{V} = 4$ den Höchstauftrieb erreichen, und zwar rund $c_a = 10$; der Zylinder ohne Scheiben kommt ungefähr auf $c_a = 4$.

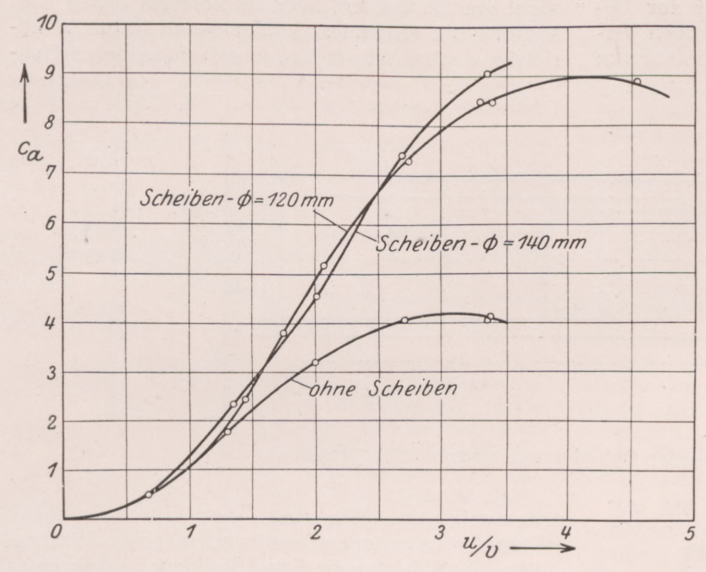


Fig. 26. c_a abhängig von $\frac{u}{V}$.

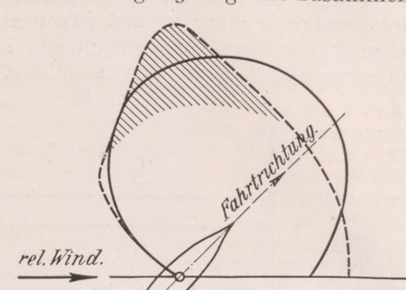


Fig. 27. Windkräfte an den Schiffsmodellen. ——— Rotorschiff, - - - - - - - - Segelschiff.

Außerdem wurden die Windkräfte auf ein Modell des Rotorschiffes „Buckau" und auf das eines gleichwertig getakelten Segelschiffs der früheren Art ermittelt. Diese sind in Fig. 27 für einen relativen Wind[2]) konstanter Richtung und Stärke in der Weise aufgetragen, daß die in die Fahrtrichtung fallende nützliche Komponente der Luftkraft in dem jeweiligen Kurs zum relativen Wind aufgetragen ist. Die Segelflächen der

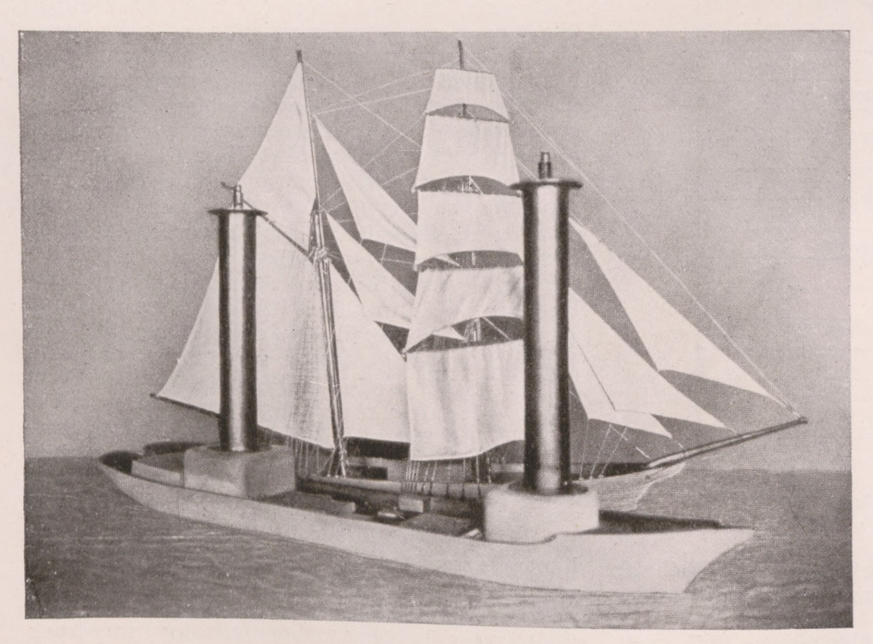


Fig. 28. Die beiden Schiffsmodelle. Die Rotoren enthalten je einen Elektromotor im Innern (Konstruktion nach Fig. 24).

[1]) Herr FLETTNER macht geltend, daß ihm gerade diese Wirkung von Scheiben von anderen Arbeiten her geläufig gewesen sei und daß er auch ohne unseren Vorschlag beim Zylinder Scheiben angeordnet hätte.

[1]) Widerstand in der Windrichtung, dividiert durch $F \cdot q$.

[2]) Wind relativ zum fahrenden Schiff.

beiden Modelle, die in Fig. 28 wiedergegeben sind, verhielten sich dabei wie 1 : 9,8. Beim Segelschiffmodell mußten jedesmal die Segel dem jeweiligen Kurse entsprechend von neuem eingestellt werden; je nach der besseren oder schlechteren Einstellung ergaben sich Meßpunkte weiter außen oder innen. Das von den Meßpunkten bedeckte Gebiet ist in der Fig. 27 schraffiert. Beim „Rotor" ist eine Einstellung nur insofern möglich, als die Umfangsgeschwindigkeit der Windstärke angepaßt wird. Daß bei wechselnder Windrichtung keinerlei Verstellung nötig ist, ist ein wichtiger Vorzug des Rotors. Beim Segelschiff verlangt jede größere Änderung der Windrichtung oder -stärke eine Änderung der Segelstellung. Da diese besonders bei großen Schiffen sehr mühsam ist, unterbleibt sie häufig, so lange es irgendwie geht, und es wird daher oft sehr wenig gut gesegelt. Beim Rotorschiff ergibt sich von selbst die richtige Einstellung; die Drehzahl kann auch mit geringster Mühe auf das richtige Maß gebracht werden, da hierzu nur der Schiffsführer an einem Handrad zu drehen hat, durch das der Elektromotor gesteuert wird, der den Rotor antreibt. Nur wenn der Wind von Steuerbord zu Backbord wechselt, ist es nötig, die Drehrichtung der Rotoren umzukehren. Durch Laufenlassen der beiden Rotoren mit entgegengesetzter Drehrichtung kann man das Schiff am Platze drehen. Bei zunehmendem Wind wird von selbst $\frac{u}{V}$ und damit c_a kleiner, d. h. die Windkraft nimmt langsamer zu als beim alten Segelschiff, wo man genötigt ist, Segel wegzunehmen. Eine weitere Schwächung ist dabei leicht durch Verringerung der Drehzahl möglich. Wird bei heftigem Sturm der Rotor ganz abgestellt, dann ist der Windangriff sehr gering, es wird $c_a = 0$ und $c_w = 0{,}3$[1]). Der Widerstand ist dann geringer als der der leeren Takelung eines gleichwertigen alten Segelschiffs.

Fig. 29 zeigt das Versuchsschiff „Buckau", einen Motorsegler von 600 Tonnen, vor und nach dem Umbau. Fig. 30 gibt einen Blick von der auf dem Hinterschiff befindlichen Kommandobrücke auf den vorderen Rotor, dessen Einzelheiten gut zu erkennen sind. Der mittschiffs befindliche Lademast dient zum Heben der Lasten, die auf dem Schiff verfrachtet werden sollen.

Bei einer Vorführungsfahrt der „Buckau" am 12. Nov. 1924 konnte ich mich von der überaus sorgfältigen und schönen Durchführung der Konstruktion der Rotoren und ihres Antriebs seitens der *Germaniawerft* in Kiel überzeugen. Im Innern der Rotoren befindet sich eine mit der Schiffskonstruktion fest verbundene hohle, innen besteigbare Säule aus Stahlblech, die oben das Hauptlager trägt, in dem der Rotor hängt. Unten ist der Rotor zum zweitenmal gelagert. Der Antrieb erfolgt durch ein Zahnräderpaar knapp über dem Hauptlager, das von einem in Leonardschaltung[1]) betriebenen Elektromotor angetrieben wird. Die Rotoren sind aus 1 mm starkem Eisenblech mit einer inneren Versteifungskonstruktion hergestellt. Sie liefen praktisch geräuschlos; die Manövrierfähigkeit des Schiffes war nach dem Urteil der Fachleute ausgezeichnet. Die Erprobung im Sturm steht allerdings noch aus, da seit der Fertigstellung des Schiffs immer noch kein Sturm war. Doch braucht nichts Ernstliches befürchtet zu werden, da die Windkräfte ja bei stillstehenden Rotoren sehr klein sind[2]).

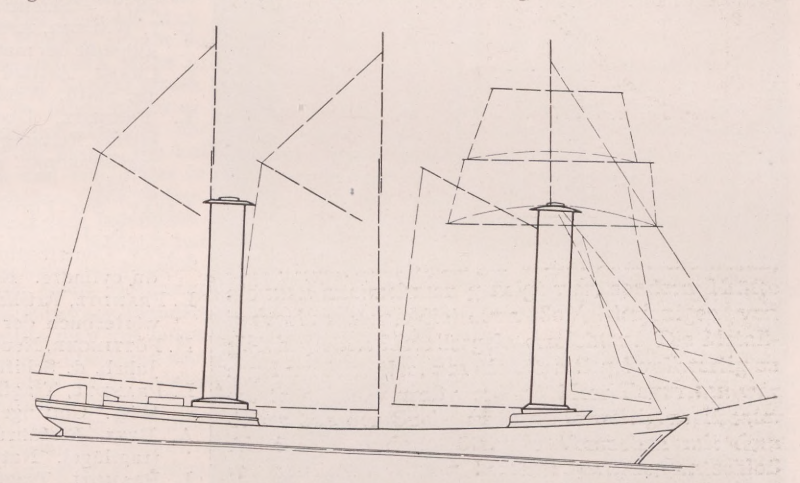


Fig. 29. Segelriß der „Buckau" vor und nach dem Umbau.

[1]) Der größere Wert in Fig. 25 hängt damit zusammen, daß beim stillstehenden Modellzylinder die kritische Geschwindigkeit (genauer kritische Reynoldssche Zahl) noch nicht erreicht war. Vgl. etwa WIESELSBERGER, Phys. Zeitschr. **22**, 321. 1921; L. PRANDTL, Festschr. d. Kaiser Wilhelm-Ges. Berlin 1921, S. 178; Ergebn. d. Aerodyn. Versuchsanst. II. Liefg. München 1923, S. 23.

[1]) Bei der Leonardschaltung wird ein Gleichstrommotor von einer besonders zu ihm gehörigen Dynamo aus in der Weise angetrieben, daß das Magnetfeld des Motors von einer fremden Stromquelle mit konstanter Stärke, das der Dynamo regelbar mit veränderlicher Stärke erregt wird, während die beiden Anker unmittelbar aneinander geschaltet sind. Dadurch liefert der Dynamo Strom von beliebig regelbarer Spannung, und der Motor läuft mit einer dieser Spannung proportionalen Drehzahl. Auf der Buckau befinden sich demnach, um die beiden Türme unabhängig voneinander betreiben zu können, neben den zwei Elektromotoren drei kleine Dynamos, eine für jeden Turm und eine für die allgemeinen Bordzwecke und für die Erregung der Magnetfelder.

[2]) Zusatz bei der Korrektur: Die Sturmfahrt hat inzwischen stattgefunden. Das Schiff hat sich dabei

Die Hauptfrage wird nun natürlich sein: Ist das Rotorschiff gegen den Dampfer und das Motorschiff wirtschaftlich wettbewerbsfähig? Die Berechnungen, die allerdings ganz außerhalb meines Arbeitsgebietes liegen, scheinen es zu beweisen. Ein wirklicher Beweis wird natürlich nur durch die Erfahrungen geliefert werden können, die man mit den Rotorschiffen machen wird, und bei denen vieles mitsprechen wird, was sich nicht von vornherein abschätzen läßt (Reparaturenkonto usw.!). Im übrigen sind auch hier die Aussichten m. E. gut, und es ist deshalb erfreulich, zu hören, daß eine Anzahl größerer Motorsegler in Rotorschiffe umgebaut werden sollen, durch die die Probe aufs Exempel gemacht werden wird. Schade nur, daß damit wieder ein Stück Poesie von der Maschine verdrängt wird. Doch wird man sich sagen müssen, daß das Segelschiff auch so nicht zu retten gewesen wäre; möge dem Neuen, das an seine Stelle tritt, der Erfolg gegönnt sein!

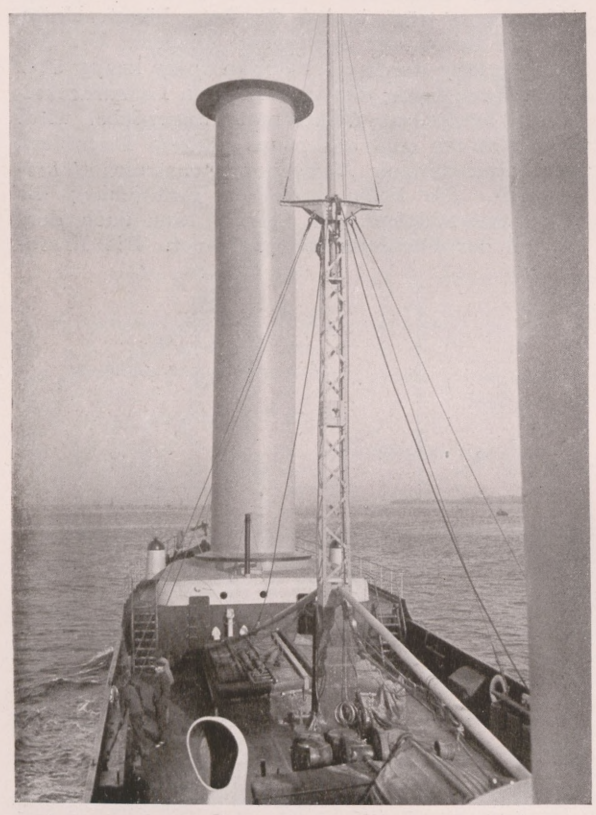


Fig. 30. Blick von der Kommandobrücke der „Buckau" nach dem vorderen Rotor hin.

gut bewährt. Es hat inzwischen seine Kauffahrtei-Fahrten aufgenommen.

Literatur:

B. Robins, New principles of gunnery. London 1842.

B. Robins, Mathematical tracts of gunnery. London 1761, S. 200 u. f.

S. D. Poissen, Recherches sur le mouvement des projectiles. Paris 1839.

J. P. G. v. Heim, Beiträge zur Ballistik in besonderer Beziehung auf die Umdrehung der Artilleriegeschosse. Ulm 1848.

G. Magnus, Über die Abweichung der Geschosse. Abh. d. Kgl. Akad. d. Wiss. zu Berlin 1852. = Poggendorffs Ann. **88**, 1. 1853.

J. W. Strutt, Lord Rayleigh, On the irregular flight of a Tennis-Ball. Messenger of Mathematics **7**, 14. 1877. = Scientific Papers. Cambridge 1899, S. 344.

G. T. Walker, Artikel „Spiel und Sport" in der Encyklopädie der math. Wissensch. **IV 9**, S. 136 u. f. 1900.

C. Cranz, Artikel „Ballistik" in der Encyklopädie der math. Wissensch. **IV 18**, S. 226 u. f. 1903.

L. Prandtl, Über Flüssigkeitsbewegung bei sehr kleiner Reibung. Verhandl. d. III. Internat. Mathematikerkongr. zu Heidelberg 1904. Leipzig 1905, S. 484.

Lafay, Sur l'inversion du phénomène de Magnus. C. R. **151**, 867. 1910.

Lafay, Contribution expérimentale a l'aerodynamique du cylindre. Revue Mécanique **30**, 431 u. f. 1912.

L. Prandtl, Artikel „Flüssigkeitsbewegung" im Handwörterbuch der Naturwissenschaften. Jena 1913.

H. Föttinger, Neue Grundlagen des Propellerproblems Jahrb. d. Schiffbautechn. Ges. **19**, 426 u. f. 1918.

L. Prandtl, Tragflügeltheorie. Nachr. d. Kgl. Ges. d. Wiss. Göttingen 1908, S. 451 u. 1909, S. 107.

A. Betz, Einführung in die Theorie der Flugzeugtragflügel. Naturwissenschaften 1918, S. 557.

L. Prandtl, Tragflächenauftrieb und -Widerstand in der Theorie. Jahrb. d. Wiss. Ges. f. Luftfahrt. Berlin 1920, S. 37 u. f.

Th. v. Kármán, Über laminare und turbulente Reibung. Zeitschr. f. angew. Mathem. u. Mechanik **1**, 233. 1921.

Nachtrag bei der Korrektur.

A. Flettner, Die Anwendung der Erkenntnisse der Aerodynamik zum Windantrieb von Schiffen. Werft, Reederei, Hafen **5**, 657, 1924.

A. Betz, Der Magnuseffekt, die Grundlage des Flettnerrotors, Zeitschr. d. Vereins deutsch. Ing. **69**. 9, 1925.

J. Ackeret, Das Rotorschiff und seine physikalischen Grundlagen. Göttingen 1925 bei Vanderhoeck u. Ruprecht.

Besprechungen.

Iltis, Georg, **Gregor Johann Mendel. Leben, Werk und Wirkung.** Herausgegeben mit Unterstützung des Ministeriums für Schulwesen und Volkskultur in Prag. Berlin: Julius Springer 1924. VII, 426 S., 59 Abb. im Text und 12 Tafeln. 16 × 24 cm. Preis geh. 15, geb. 16,80 Goldmark.

Das ausgezeichnet ausgestattete Buch zerfällt in 2 Teile. Der erste, S. 1—197, bringt die Lebensbeschreibung Mendels, der zweite, S. 201—426, soll die Wirkung Mendels auf die Vererbungslehre seit dem Bekanntwerden seiner Leistungen 1900 schildern.

Die einfachen Lebensschicksale Mendels sind vor nicht allzulanger Zeit an dieser Stelle in den Hauptzügen vom Referenten gelegentlich der 100. Wiederkehr

des Geburtstages geschildert worden [10. Jg., H. 29 (21. Juli 1922), S. 623—631] und sollen hier nicht wiederholt werden. An diesem Gerippe ist nichts wesentliches zu ändern. ILTIS ist aber seit mehr als einem Jahrzehnt mit allem Fleiß und großer Begeisterung den Spuren MENDELS nachgegangen. Er hat amtliche Dokumente, Mitteilungen der Verwandten und Erinnerungen von Bekannten und Schülern MENDELS zu einem möglichst vollkommenen Bilde verarbeitet. Da MENDEL keine Tagebücher geführt hat, und in den erhalten gebliebenen Briefen Persönliches nur selten vorkommt, war das der einzig mögliche Weg. Auch so bleibt noch vieles ungewiß, z. B. wann MENDEL in Rom war, und ob und wann er England besucht hat. Wichtiger sind die Züge, die uns tiefer in seine Psyche blicken lassen. So ist der unglückliche, von vornherein aussichtslose Streit, den er in seinen letzten 10 Lebensjahren wegen des Religionsfondgesetzes mit der Regierung führte, eingehend und auf Grund der Akten dargestellt. Auch die Ursachen, weshalb MENDELS Arbeit unbeachtet blieb, werden natürlich ausführlich behandelt. Dabei kommt NÄGELI, der MENDEL mit Material für seine Hieracien-Bastardierungen versorgte, schlecht weg. Der Vorwurf, MENDELS grundlegende Arbeit in den Händen gehabt zu haben, ohne sie gründlich zu lesen und sich Mühe zu geben, sie zu verstehen, bleibt ja auf NÄGELI sitzen. I. vermeint aber auch in der fast 20 Jahre später erschienenen „Mechanisch-physiologischen Theorie der Abstammungslehre" Vorstellungen zu finden, die auf die Arbeit MENDELS zurückgingen und von dieser in NÄGELIS „Unterbewußtsein" geblieben sein sollen. Die Gründe, die I. dafür anführt, sind ganz fadenscheinig und beweisen gar nichts; einen Passus NÄGELIS hat I. vollkommen mißverstanden. Ich habe das gelegentlich einer Besprechung an anderer Stelle (Deutsche Literaturzeitung 1924, S. 1701) etwas näher auseinandergesetzt und verweise darauf. So sollte man mit einem Manne wie NÄGELI, der MENDEL geistig überlegen war, nicht umspringen. I. hat sich von dem Fehler vieler Biographen, ihrem Helden auf Kosten anderer Zeitgenossen eine besondere Folie zu geben, nicht freihalten können. Dieser Mangel ist sehr zu bedauern, denn Iltis Buch wird durch die gewissenhafte und überaus fleißige Sammlung alles Tatsachenmaterials gewiß *die* Biographie MENDELS bleiben.

Der zweite Teil, „Der Mendelismus", S. 201—409, sollte ursprünglich eigentlich eine „Geschichte des Mendelismus" werden; Verf. hielt dann aber die Zeit für eine solche noch nicht für gekommen und beschränkte sich darauf, in seiner Darstellung wenigstens den historischen Standpunkt zu betonen. Sie ist mit großem Fleiß und anerkennenswerter Sachlichkeit verfaßt; hier und da lassen sich Einwendungen machen. Wie Verf. in der Vorrede selbst sagt, liegen seine wissenschaftlichen Arbeiten auf anderem Gebiet; dafür ist die Einarbeitung in die ungeheure Literatur und die Selbständigkeit, die er sich zu wahren suchte, sehr anerkennenswert. C. CORRENS, Berlin-Dahlem.

SOMMERFELD, ARNOLD, **Atombau und Spektrallinien.** Braunschweig: Friedr. Vieweg & Sohn, Akt.-Ges. 1924. VIII, 862 S. und 156 Abbildungen. Preis geh. 22, geb. 25 Goldmark.

Aus dem Vorwort zur vierten Auflage: Die vierte Auflage ist gegenüber der dritten wieder erheblich umgearbeitet worden. Leider war es unvermeidlich, daß sie an Umfang zunahm, trotzdem ich mich bemühte, alles irgendwie Entbehrliche auszuschalten. So habe ich die Ausführungen über Krystallstruktur und über Molekularmodelle fortgelassen, die Theorie der Kugelwelle und ihres Impulsmomentes im Text gekürzt und in den Zusätzen unterdrückt, da sie mir heute als Grundlage der Quantenstrahlung doch nicht mehr zureichend scheint; auch den besonderen Paragraphen über Relativitätstheorie habe ich gestrichen; aus dem umgekehrten Grunde, weil sie nämlich als anerkannte und allgemein bekannte Grundlage der Naturforschung angesehen werden darf.

Besonders kam es mir darauf an, zwei Gegenstände in die neue Auflage einzuarbeiten: Die Bohrsche Theorie des periodischen Systems und die Komplexstruktur der Spektren.

Um die Bausteine der neuen Bohrschen Atommodelle, die sog. n_k-Bahnen, in dem Kapitel über das periodische System zur Hand zu haben, mußte das früher vierte Kapitel über das Wasserstoffspektrum jetzt als zweites Kapitel vorangestellt werden, weil in der Theorie der Balmerserie die n_k-Bahnen historisch zuerst und in ihrer einfachsten Form auftreten. Leider haben sich seit der Niederschrift dieser Teile des Buches (August 1923) einige neue spektroskopische Tatsachen ergeben, durch welche die Darstellung der Atommodelle im dritten Kapitel bereits überholt ist. Z. B. können wir nach einer Untersuchung FOWLERS über das Kohle-Funkenspektrum, das C-Atom in seiner äußeren Schale nicht mehr aus vier gleichwertigen 2_1-Bahnen aufbauen, wie es auf S. 184 dieser Auflage nach der chemischen Systematik noch als selbstverständlich hingestellt wird. Ferner haben sich bei der spektroskopischen Untersuchung von Titan und Vanadium als Grundbahnen dieser Atome 4_4-Bahnen herausgestellt, während wir nach dem Bohrschen Plan der Atommodelle hier erst die Vervollständigung der M-Schale und von der N-Schale höchstens 4_1-Bahnen erwarten sollten.

Einen großen Fortschritt scheint die Modifikation des Bohrschen Systems durch E. C. STONER (Phil. Mag., Oktober 1924) zu bedeuten, durch welche insbesondere die Schwierigkeit beim C-Atom in befriedigendster Weise gehoben wird. Nach STONER sind die Schalen im Innern des Atoms weiter zu unterteilen, die Elektronenzahlen in den Untergruppen der Atomschalen werden unter sich verschieden und sind durch die formalen Regeln der inneren Quantenzahlen bestimmt, der Aufbau der Atome wird noch enger als bisher an die Struktur der Röntgenspektren angeschlossen.

Der andere Gegenstand, der erst in dieser Auflage eine seiner Wichtigkeit angemessene Stelle gefunden hat, die Komplexstruktur der Serienterme, wird im achten Kapitel abgehandelt. Es ist erstaunlich, wie rasch die Ordnung der verwickelten Spektren — seit Einführung der inneren Quantenzahlen im Jahre 1920 und seit ihrer ersten Anwendung auf die Catalanschen Manganmultipletts im Jahre 1922 — fortgeschritten ist und wie vollkommen die hier verfügbaren, im Grunde halbempirischen Methoden sich bewährt haben. Die Gesetze, die dabei zutage getreten sind, der regelmäßige Wechsel zwischen geradzahligen und ungeradzahligen Termen beim Fortschreiten im periodischen System, der Aufbau der Spektren von den einfachen Dublettsystemen zu den hochkomplexen Multipletts, sind von fundamentaler Schönheit.

Besonders reizvoll scheint mir der Zusammenhang zwischen den Fragen der Komplexstruktur und den magnetischen Tatsachen. Anschließend an die Darstellung der anomalen Zeemaneffekte habe ich eine Theorie des Magnetons vorgeschlagen, die auf der räumlichen Quantelung und dem STERN-GERLACH-Effekt beruht, und die einen hohen Grad innerer Wahrscheinlichkeit besitzt. Allerdings muß bemerkt werden,

daß neueste, noch nicht publizierte Messungen von B. CABRERA an den krystallisierten Salzen der seltenen Erden Resultate geliefert haben, die der hier vertretenen Auffassung teilweise widersprechen. Den tiefsten Einblick in die Quantenwelt gewähren gegenwärtig die ganzzahligen Intensitätsregeln, die die Utrechter Messungen zutage gefördert haben. Diese Intensitätsregeln, zusammen mit der Landéschen Intervallregel. sind im fünften Paragraphen des achten Kapitels dargestellt. Den Schluß des Kapitels bildet das Eisenspektrum, dessen Deutung den schönsten Erfolg der hier geschilderten Methoden darstellt.

Dadurch, daß ich mich im wesentlichen auf die quantentheoretische Ordnung der Tatsachen beschränkt und atommechanische Spekulationen, ähnlich wie schon früher bei den Röntgenspektren, zurückgestellt habe, hoffe ich zu erreichen, daß die Darstellung nicht zu bald veralten wird.

Die wichtigste Frage der Theorie ist zugleich nach wie vor die dunkelste: Die Frage nach der Natur des Lichtes. Während ich früher die Wellentheorie für die reinen Fortpflanzungsvorgänge solange als irgend möglich zu halten suchte, bin ich durch den COMPTONeffekt mehr und mehr auf den Boden der extremen Lichtquantentheorie gedrängt worden. Ich habe den COMPTONeffekt unter die fundamentalen Erfahrungstatsachen im ersten Kapitel aufgenommen; er ist wohl die wichtigste Entdeckung, welche im gegenwärtigen Zustand der Physik gemacht werden konnte. Das Korrespondenzprinzip, das früher nur in den Zusätzen behandelt wurde, habe ich an den Anfang des fünften Kapitels gestellt und die Behandlung der Intensitäts- und Polarisationsfragen darauf aufgebaut.

A. SOMMERFELD, München.

Deutsche Meteorologische Gesellschaft.

(Berliner Zweigverein.)

Die erste Sitzung nach den Sommerferien am 14. Oktober brachte einen Vortrag von Herrn Dr. ALBRECHT: **Wolkenuntersuchungen auf dem hohen Sonnblick.**

Der Vortragende berichtete über Bestimmungen des Wassergehalts der Wolken, die im Juli und August auf dem Sonnblickobservatorium vorgenommen wurden. Die Bearbeitung der Ergebnisse ist noch nicht vollständig abgeschlossen. Es soll daher an dieser Stelle erst nach dem in Aussicht gestellten zweiten Vortrag berichtet werden.

In der Sitzung vom 4. November 1924 sprach zunächst Herr Dr. KÖNIG über **Die Wetterlage bei der Amerikafahrt des Zeppelinluftschiffes.**

Der anfangs geplante Weg über den Kanal wurde in letzter Stunde aufgegeben, da hier am Morgen des 12. Oktober kräftige SW-Winde unter dem Einfluß einer südlich von Island liegenden Depression wehten. Es wurde daher von der Schiffsleitung die südlichere Route gewählt mit Anfangs-Fahrtrichtung quer durch Frankreich auf Kap Ortegal zu. Abgesehen von den hier auftretenden stärkeren Böen, die eine auf den Luftdruckverteilungskarten nicht sicher erkennbare Druckstörung vermuten lassen, verlief der erste Teil der Fahrt im Bereiche des in der Gegend der Azoren gewöhnlich zu dieser Jahreszeit liegenden Hochdruckgebietes unter günstiger Windrichtung mit großer Fahrtgeschwindigkeit. Nach Passieren der Azorengruppe gestalteten sich die Verhältnisse aber sehr viel schwieriger, da von der nördlichen isländischen Depression aus sich eine Tiefdruckrinne vor der amerikanischen Küste hinzog. Die Beibehaltung der Fahrtrichtung auf die Bermudainseln würde dem Luftschiff ständige heftige Gegenwinde gebracht haben. Die über die Wetterlage orientierte Schiffsleitung entschloß sich daher, den Kurs nach Norden zu nehmen, wodurch mit günstigem Winde eine am südlichen Ende der erwähnten Druckrinne liegende Teildepression nördlich umfahren wurde. Auf ihrer Rückseite hatte das Schiff weiter günstige Winde und konnte am 15. Oktober vormittags die Fahrt von Neu-Schottland über Boston, New York und Washington nach Lakehurst in glänzendster Weise vollenden. Bei rund 7000 km wirklich zurückgelegter Wegstrecke dürfte trotz der zeitweise auf 40 km verminderten Geschwindigkeit die mittlere Gesamtgeschwindigkeit 90 km in der Stunde betragen haben.

Den Hauptvortrag des Abends hielt Herr Professor Dr. v. FICKER über das Thema: **Ballonfahrten bei Föhn.**

Die von dem Vortragenden selbst ausgeführten Föhnfahrten gingen alle von Innsbruck aus, das sich wegen der guten Ausbildung des Föhns für diese Föhnuntersuchungen recht gut eignet. Um die Strömung bei Föhn studieren zu können, kommt es nur darauf an, den Ballon in Kammhöhe aerostatisch ins Gleichgewicht zu bringen, so daß er auf der gleichen Stromlinie schwimmt und alle die durch die einzelnen Gebirgsketten verursachten Störungen mitmacht. Stau- und Saugwirkungen sind bei eigentlichen Föhnfahrten nicht vorhanden, sondern der Ballon sinkt bis auf die Talsohle durch und steigt dann wieder. Außer der Dynamik des Föhns war für die Ballonfahrten im Gebirge an Problemen kein Mangel; so lieferte sie z. B. auch gutes Material für die Beurteilung der Frage, ob ein Temperaturunterschied zwischen den Berggipfeln und der freien Atmosphäre besteht.

Da der Aufstiegsort in Innsbruck recht ungünstig liegt und während des eigentlichen Föhns meist stürmische Winde wehen, mußten deshalb Tage mit Föhnpausen ausgesucht werden, d. h. solche, wo ein kaltes Luftpolster im Tale den Föhn in den unteren Schichten zeitweise unterbrach. Welch eigenartige Windschichtung dabei auftreten kann, beweist eine bei Sturm angetretene Fahrt, bei der der Ballon in 3000 m Höhe in Windstille kam.

Der Vortrag brachte vor allem technisch gut ausgeführte Aufnahmen von der Föhnfahrt vom 4. Oktober 1912. Die Fahrt wurde in einer Föhnpause angetreten, in der die Oberfläche der kalten Luft sich durch eine Stratus-Decke markierte. Nach kurzem senkrechten Aufstieg wurde diese durchstoßen, worauf der Ballon gegen die Nordkette abgetrieben wurde. Diese wurde überflogen und dann die $6^1/_2$ km zur zweiten Kette in 5 Minuten zurückgelegt, wobei der Ballon zunächst 1100 m abstieg und dann 900 m wieder aufstieg. Bei den folgenden Ketten des Karwendelgebirges wiederholte sich dieser Vorgang, wenn auch in abgeschwächten Maße, wieder. In dem vorgezeigten Barogramm dieser Fahrt spiegelte sich jede Kette wieder.

Föhnfahrten nach Norden bedingen einen Keil hohen Druckes auf der Südseite der Alpen, zur Fahrt nach Süden ist eine Wetterlage mit einem Keil hohen

Druckes aus Westen auf der Nordseite erforderlich. Die Auflösung der Wolkendecke am Rande des Gebirges unter dem Einfluß der absteigenden Föhnströmung ist gut ausgeprägt.

Den Schluß des Vortrags bildeten Aufnahmen von Fahrten über die Zentralalpen, unter denen vor allem die des Pasterzengletschers in den Hohen Tauern auffielen. Kn.

Gesellschaft für Erdkunde zu Berlin.

Am 18. Oktober 1924 berichtete Geheimrat H. THOMS (Berlin) über seine **Reise durch Japan nach dem Erdbeben 1923.** Jene Erderschütterung am 1. September 1923 in dem bebenreichen Japan zeichnete sich keineswegs durch besondere Stärke aus. Lediglich der Umstand, daß der Erdbebenherd in der Nähe volksreicher Städte lag, machte sie zu einer so großen Katastrophe, bei der mehr Menschen ihr Leben verloren als in dem blutigsten Kriege, den Japan je geführt hat. Man zählte 99 331 Tote, 103 733 Verwundete und 43 476 Vermißte. 128 266 Häuser wurden durch das Erdbeben zerstört, 447 128 fielen bei dem, durch das Beben verursachten Brand den Flammen zum Opfer und 568 wurden in dem Küstengebiet von den Erdbebenfluten verschlungen, so daß im ganzen rund 576 000 Häuser vernichtet wurden. Die in Yokohama und Tokio aufgenommenen Lichtbilder zeigten die Spalten und Verwerfungen im Boden, Senkungstrichter, die sich mit Wasser gefüllt hatten, und zerstörte Baulichkeiten verschiedenster Art. Auffällig ist die Tatsache, daß mitunter dicht neben völlig verwüsteten Bezirken große Häuser ganz unversehrt geblieben sind. Eigenartig wirkten auch die Bilder von Gebäuden, die durch Neigungen des Erdbodens eine sehr erhebliche Schiefstellung erlitten hatten, im übrigen aber intakt geblieben waren. An einzelnen Standbildern hat man eine Drehbewegung feststellen können. Das Beben war ein tektonisches, d. h. durch die Auslösung von Spannungen in der festen Erdkruste verursacht. Sein Herd lag in der Sagami-Bai südlich von Yokohama. Man konnte dort Hebungen und Senkungen des Meeresbodens um mehrere hundert Meter innerhalb eines engen Bezirkes feststellen. An der Küste wechselten, wie aus einer ausgestellten Karte ersichtlich war, Hebungen und Senkungen geringen Betrages miteinander ab. Die Kurve, welche das registrierende Seismometer des Geodätischen Instituts zu Potsdam aufgezeichnet hatte, zeigte mit großer Deutlichkeit die Unterschiede der einzelnen Erschütterungswellen, die den Erdkörper mit verschiedener Geschwindigkeit durchlaufen, und deren Eigentümlichkeiten E. KOHLSCHÜTTER gelegentlich des chilenischen Erdbebens vom 11. November 1922 erläutert hatte (Die Naturwissenschaften 1923, Jg. **11**, H. 6, S. 92—93). Der Vortr. wies kurz auf den Wert hin, den die Analyse solcher Erschütterungswellen neuerdings für die Ermittelung der Beschaffenheit des Erdinnern gewonnen hat, betonte aber gleichzeitig, daß auch den chemischen Veränderungen in den Tiefen der Erde mehr Aufmerksamkeit gewidmet werden müßte. Die Konstruktion erdbebensicherer Häuser ist für Japan eine Lebensfrage. Man hat Steinbauten empfohlen, denen durch Stahlgerüste eine starke innere Festigkeit verliehen ist. Der Vortr. hält massive Steinbauten mit fest verankerten Dächern für praktisch. Das Volk aber hält mit Zähigkeit an der alten Gewohnheit der Holzbauten fest.

Im zweiten Teile seines Vortrages schilderte Professor THOMS, gleichfalls an der Hand von Lichtbildern, die Landschaften der von ihm besuchten Gebiete, die Bevölkerung, sowie die Eindrücke, welche das moderne Japan auf den Europäer macht. Der vulkanische Charakter des Landes prägt sich nicht nur in den zahlreichen Vulkanbergen von regelmäßiger Kegelform aus, sondern auch in warmen Quellen, deren schwefelwasserstoffhaltiges Wasser Temperaturen bis 90° erreicht und sich mitunter in warmen Seen ansammelt, die als Heilbäder viel besucht werden. Das Meerwasser eignet sich in der Nähe der Küste nicht zur Salzgewinnung, es wird vielmehr weit draußen geschöpft, in Schiffen herangebracht und auf tonigem Boden der Verdunstung ausgesetzt.

Das japanische Volk zeichnet sich durch vorzügliche Charaktereigenschaften aus, was sich auch in dem musterhaften Verhalten bei der Erdbebenkatastrophe bemerkbar machte. Der ursprüngliche religiöse Kult der Japaner bestand in einer Verehrung der Sonne, der übrigen Himmelskörper und der Naturgewalten, sowie in dem Ahnenkult, bei dem die Geister der Vorfahren durch Religionsübungen geehrt wurden, die man Shinto nannte. Dieser Shintoismus wurde durch den rasch aufblühenden Buddhismus vielfach verdrängt, aber später im Gegensatz zu China wieder bevorzugt und 1868 sogar zur Staatsreligion erklärt. Da sich jedoch bald herausstellte, daß der Buddhismus sich nicht beseitigen ließ, so wurde im Jahre 1889 Religionsfreiheit gewährt. Ein bezeichnendes Licht auf das Verhältnis beider Religionen warf die Mitteilung, daß in Kioto 82 Shinto- und 878 Buddhatempel vorhanden sind. Einer der letzteren enthält nicht weniger als 800 Figuren der buddhistischen tausendarmigen Gottheit Kwannon. O. B.

Am 8. November 1924 sprach Professor KARL SAPPER (Würzburg) über seine **Reiseeindrücke aus Mittel- und Südamerika.** Die Fahrt führte zuerst nach Habana, wo zwar noch spanisches Leben pulsiert und die spanische Sprache vorherrscht, das Verkehrswesen aber bereits amerikanisiert ist. An der dortigen Universität werden auch technische und landwirtschaftliche Fächer gelehrt. In Mexiko befanden sich die Maisfelder infolge der Heuschreckenplage in trostloser Verfassung. Der Urwald ist in den letzten Jahrzehnten überall zurückgedrängt worden, was auf den Wasserablauf in den Gebirgen von ungünstigem Einfluß war. Auch die Stadt Mexiko hat sich in den 30 Jahren, seitdem der Vortragende sie zuletzt besuchte, sehr verändert. Sie ist eine wichtige Großstadt geworden, in welcher der amerikanische Automobilverkehr eine dominierende Stellung einnimmt. In Guatemala, wo der Vortragende früher 12 Jahre gelebt hat, ließ sich ebenfalls ein gewaltiger Fortschritt im Verkehrswesen feststellen. Die deutsche Wissenschaft genießt überall noch das alte Ansehen, doch konnte sich in keinem der besuchten Länder die geographische Wissenschaft die Anerkennung als Universitätsfach erringen.

Die überraschendsten Fortschritte zeigten sich in Panama. Die Urwälder sind von asphaltierten Autostraßen durchzogen; überall sieht man gepflegte Felder und Angestelltenhäuser mit Palmengärten. Die Moskitoplage und damit auch Malaria und gelbes Fieber sind fast verschwunden, was den organisatorischen Sanierungsarbeiten der Amerikaner zu verdanken ist. Die Sterblichkeitsrate in dieser, früher verrufenen

Gegend ist heute geringer als in manchen Städten Deutschlands.

In Kolumbien benutzte SAPPER die von Deutschen eingerichtete Fluglinie längs des Rio Magdalena. Ein Flug von 1000 km Länge in 300 m Höhe über den Urwäldern zeigte, daß sich das ganze reiche Tierleben im Innern dieser Wälder abspielt, denn auf der ganzen Strecke wurden nur 11 Vögel gesichtet. Sehr schön ließen sich die im dichtesten Urwald versteckten Siedelungen der Indianer aus der Luft erkennen. In den Llanos von Venezuela war mit der Bevölkerungsziffer auch der Viehstand sehr zurückgegangen und mehr als die Hälfte aller Häuser ausgestorben.

In sämtlichen besuchten Ländern ist es den Deutschen gelungen, trotz der Schwierigkeiten der Kriegsjahre die deutschen Schulen aufrechtzuerhalten.

Die Vorführung der Lichtbilder gab dem Vortragenden Veranlassung, die Überlegenheit der Luftbildaufnahme über die terrestrischen Vermessungsmethoden in unerforschten Ländern zu betonen. So konnte z. B. durch Aufnahme von 1800 Photographien aus dem Flugzeug in 3 Monaten ein Venezuela-Kolumbisches Grenzgebiet vermessen werden, das nach den alten Methoden jahrelang gedauert und die zehnfachen Kosten verschlungen hätte. Besonderes Interesse brachte SAPPER seinem alten Forschungsobjekt, den mittelamerikanischen Vulkanen entgegen. Der Vulkan Santa Maria in Guatemala hatte im Jahre 1902 einen Ausbruch gehabt, bei dem der Gipfel des Berges in einer Nacht in die Luft gesprengt und ein Krater von einem Kilometer Durchmesser entstanden war. Die stellenweise 30 m dicke Aschenschicht hatte ganze Urwälder vernichtet und dreistöckige Häuser unter ihrer Last zusammengedrückt. Einzelne Steine wurden bei dieser Explosion 14 km weit geschleudert. Im Juni 1922 erfolgte abermals ein Ausbruch, als dessen Folgeerscheinung sich auf einem Lavastaukegel eine steile spitze Felsnadel herausschob, eine Erscheinung, die sich zuerst nach dem Ausbruch des Mont Pelee auf der Insel Martinique im Jahre 1902 zeigte. In Guatemala hat man im Maßstabe von 1 : 10 000 eine Reliefkarte des Landes in fünffacher Überhöhung aus den natürlichen Gesteinen hergestellt, in welcher auch die Flüsse mit fließendem Wasser gespeist werden, ein auf der ganzen Erde wohl einzig dastehendes geographisches Schaustück. Die alte Hauptstadt von Guatemala, Antigua Guatemala, lag als schönste Stadt Mittelamerikas in 1500 m Höhe von 3000—4000 m hohen Vulkanen umgeben in prächtiger Gebirgsgegend. 1773 wurde sie durch ein Erdbeben zerstört und man gründete die neue Hauptstadt an einer scheinbar erdbebensicheren Stelle. Hier wurde sie aber 1917 doch durch ein Erdbeben bis auf 12 Häuser zerstört, während die alte Hauptstadt, bei der ganze Stadtteile aus den Ruinen prächtiger alter Tempel und Paläste bestehen, nie wieder von einem Beben betroffen wurde.

Auch die Indianerstämme der verschiedenen Länder, ihre Lebensweise und Kultur schilderte der Vortragende an der Hand von Lichtbildern. O. B.

Biologische Mitteilungen.

Einiges über Vererbungsfragen. (R. FICK, Abhdnl. d. preuß. Akad. d. Wiss. Jg. 1924, Phys.-math. Kl. Nr. 3, 34 S.). Eine Schrift, deren Titel es nicht vermuten läßt, daß nicht „einige", sondern so ziemlich alle „Grundmauern der neuesten Vererbungslehren" „etwas näher auf ihre Berechtigung" geprüft werden sollen; am Ende dieser Untersuchungen kommt der Verf. zu dem Resultat, daß der „Chromosomenmendelismus biologisch unzulässig" ist. Die akademische Stellung des Verfassers läßt eine Besprechung der Schrift an dieser Stelle angezeigt erscheinen. Für ein eigentliches Referat ist sie zu inhaltreich; auch erscheint es nicht tunlich, den Einwänden des Verfassers positive Tatsachen entgegenzuhalten, denn man müßte dazu ein Lehrbuch der Vererbungslehre exzerpieren. Somit kann es sich nur darum handeln, diesen Einwänden gegen „einige heutzutage fast allgemein anerkannte Dogmen" eine Würdigung angedeihen zu lassen.

Wenn auch der am Anfang des Titels stehende Ausdruck „Einiges" nicht auf den *Umfang* der behandelten Materie paßt, so ist er der *Behandlungsweise* des Stoffes um so angemessener. Meistens hat es nämlich der Verfasser unterlassen, sich mit den Tatsachen, die die eigentlichen Fundamente der angefochtenen Theorien darstellen, auseinanderzusetzen, sondern begnügt sich vielmehr damit, diese letzteren zu paraphrasieren. Wo sich der Verfasser hierbei auf seine Arbeit aus dem Jahre 1907 beruft, könnte dieses Verfahren berechtigt erscheinen; ist es dies aber auch in den Fällen, wo seither neuere Arbeiten positive Tatsachen beigebracht haben?

Dies zeigt schon die Behandlung des ersten Themas „Chromosomenindividualität". Zunächst wird eine Reihe von Arbeiten angeführt, „aus denen das vollständige Verschwinden wirklicher Chromosomen hervorgeht". Eine Umschreibung der Tatsache, daß die betreffenden Autoren auf gewissen Entwicklungsstadien des Kernes keine Chromosomen in ihnen beobachtet haben. (Wenn man Diatomeenschalen in ein Medium von geeignetem Brechungsindex einlegt, so daß sie unsichtbar werden, so kann man ihr Verschwinden ebenfalls konstatieren.) Daran schließt sich eine Polemik gegen den Terminus „Chromosom", weil die so genannten Gebilde nicht immer färbbar sind. (Es gibt noch mehr solcher verwerflichen Ausdrücke; oder ist vielleicht „Zelle" eine passende Bezeichnung für das, was wir heute darunter verstehen?) Statt dessen wird das Wort „Kernfaden" als „allgemein verwendbar" vorgeschlagen, „da die Gestalt eines Fadens sehr wechselnd sein kann" (z. B. kugel- oder wurstförmig, d. Ref.). Der Schluß, daß BOVERI „durch die von mir (FICK) und anderen vorgebrachten Beweise in die Enge getrieben" worden sei, dürfte aus BOVERIS Arbeiten wohl schwer herauszulesen sein. Wir erfahren ferner nach einer kurzen Darlegung der „Manövrierhypothese" des Verfassers, daß diese „übrigens eigentlich gar keine Hypothese, sondern ein kurzer Ausdruck für eine Tatsachenreihe" ist. „Jeder Organismenart kommt natürlich eine bestimmte ihr angepaßte adäquate Chromosomenzahl zu." Wie dieser Satz z. B. mit dem antithetischen Generationswechsel der Pflanzen in Einklang gebracht werden kann, wird nicht ausgeführt. Ablehnende Aussprüche dreier Forscher, die sich „gründlichst mit den Chromosomen beschäftigt haben" (nämlich LUBOSCH, ZACHARIAS und O. HERTWIG) beschließen dieses Kapitel. Eine Aufzählung der Namen derjenigen Cytologen, die sich *für* die Chromosomenindividualität ausgesprochen und sich vielleicht noch eingehender mit den Chromosomen befaßt haben als die drei genannten, ist unterblieben; sie wäre wohl etwas zu lang ausgefallen.

Auch im 2. Abschnitte unterläßt es der Verfasser,

sich mit Tatsachen, die für die Lokalisation der Erbfaktoren im Kern sprechen[1]), auseinanderzusetzen, sondern reiht eine Anzahl negativer Befunde, resp. ablehnender Aussprüche verschiedener Autoren zwanglos aneinander. Bezeichnend für seine Argumentation ist, daß er kurz nach der Besprechung der Merogonieversuche BOVERIS die Versuche GODLEWSKIS als „glänzend" (also wohl beweiskräftig) bezeichnet. Sollte die Kernlosigkeit der von diesem Forscher verwandten Eifragmente nach Erscheinen der Boverischen Nachlaßarbeit noch behauptet werden dürfen? [2])

Das 3. Kapitel handelt vom „Vererbungsstoff"; da die über die Natur dieser Substanz aufgestellten Hypothesen wohl auch vom Verfasser nicht zu den „Grundmauern der neuesten Vererbungslehren" gerechnet werden, kann seine Besprechung wohl unterbleiben.

Der 4. Abschnitt („Gonomerie") ist nur eine Art Postskript zum ersten und schließt mit der Anführung der längst widerlegten Beobachtungen CHILDS über Amitose der Urgeschlechtszellkerne von Bandwürmern und des Befundes von ZACHARIAS, daß bereits der erste Furchungskern von Ascaris in manchen Fällen vollkommen einheitlich, also nicht gonomer ist. In welcher Weise dieser Befund als Beweis gegen die selbständige Existenz der elterlichen *Chromosomen* ausgewertet werden kann, wird vom Verfasser nicht ausgeführt. Der Schlußsatz („auf solche Stützen führt uns also die Forschung nach der Grundlage für eine der Grundlehren des Chromosomenmendelismus") könnte den Anschein erwecken, als hätte der Verfasser im vorangegangenen alle Tatsachen, die für die selbständige Existenz von väterlichen und mütterlichen Chromosomen im Zygotenkern und dessen Deszendenten sprechen, erörtert. Dabei hat er nicht einmal die Arbeit von ALVERDES[3]) über experimentelle Schädigung gonomerer Kerne erwähnt.

Die im nächsten Kapitel aufs Korn genommene Chromosomenkonjugation scheint dem Verfasser auf so schwachen Füßen zu stehen, daß er ihrer Erledigung nur zwei Seiten widmet. Zunächst werden einfach die Aussprüche einiger Autoren, welche den Nachweis der Parallelkonjugation an ihren Objekten nicht haben erbringen können und daher zur Annahme einer End-to-end-Konjugation neigen, zitiert. (Verfasser erwähnt hier auch eine frühere Behauptung GOLDSCHMIDTS, der sich seither in mehr als einer Arbeit als Anhänger der Parallelkonjugationshypothese bekannt hat). Daß die Torsion (Strepsitaen) der Chromosomenpaare mit der Konjugation nichts zu tun hat, sondern nur eine recht häufige Begleiterscheinung derselben ist, scheint dem Verfasser unbekannt geblieben zu sein[4]). Sonst würde er nicht den Versuch machen, den „siegestrunkenen Mendeltheoretikern die Augen" dadurch zu „öffnen", daß er einige Fälle von Torsion somatischer (also durch Spaltung entstandener) Chromosomenpaare aufzählt. Allerdings begnügt sich der Verfasser nicht mit diesem von HAECKER stammenden Argument, sondern berücksichtigt auch die neueste Literatur, indem er die Einwände PAUL MEYERS[5]) gegen die Annahme einer Verklebung der Chromosomenpaarlinge an den Überkreuzungsstellen, die ihm „von vornherein nicht ganz ungereimt erscheinen", ausführlich bespricht. („Von vornherein", das heißt wohl, wenn man das cytologische Tatsachenmaterial außer acht läßt; oder sollten sämtliche Cytologen vor dem Erscheinen der Ratschläge PAUL MEYERS die Mikrometerschraube nicht haben benutzen können?) Der Ansicht des Verfassers, daß die von PAUL MEYER ersonnenen Schemata den oben erwähnten Torsionsfiguren der Chromosomenpaare „lächerlich genau" entsprechen, kann man wohl restlos zustimmen; besonders, wenn man die Betonung auf den ersten Teil dieser Charakterisierung legt. Die Arbeiten von FEDERLEY[1]), GELEI[2]), HARMAN[3]) und SEILER[4]) sind dem Verfasser einer Berücksichtigung wohl nicht wert erschienen.

Daß auch die Geschlechtschromosomen vor den Augen des Verfassers keine Gnade finden, kann nach dem Vorangegangenen nicht wundernehmen. Ihre Belanglosigkeit für die Geschlechtsbestimmung geht (nach FICK) aus folgendem hervor: 1. sind sie noch nicht überall nachgewiesen; 2. ist nicht immer ein und dasselbe Geschlecht heterozygot[5]); 3. paßt dem Verfasser „die entwicklungsgeschichtliche Tatsache, daß die männliche Keimdrüse [nebenbei gesagt, paßt denn das Wort „Keim*drüse*"[6]) besser auf die Gonade, als die Bezeichnung „Chromosom" auf ein Gebilde, das sich mit Hämatoxylin nicht immer färbt?] entschieden eine bei weitem verwickeltere Bildung ist als die weibliche", nicht recht zu der Annahme, daß 2 X-Chromosomen weibchenbestimmend, eines dagegen männchenbestimmend sein soll. Aus dieser Argumentation folgt, daß der Verfasser die Ausführungsgänge, Begattungsorgane usw. nicht als wesentlich zum Geschlechtsapparat betrachtet, und daß großen Wirkungen stets große Ursachen entsprechen. Die folgende Auseinandersetzung des Verfassers mit der geschlechtsbegrenzten Vererbung zeigt, daß er unter diesem Ausdruck sowohl das, was die Genetiker darunter verstehen, als auch die geschlechtsgebundene Vererbung und schließlich auch noch das, was man leichtfertigerweise „Vererbung durch das Y-Chromosom"[7]) nennt, subsumiert. Die Erklärung der Criss-Cross-Vererbung (Abraxas-Fall) durch drei „allgemeine" (aber in den besprochenen Fällen auf keine nachgewiesenen Tatsachen gestützte) Annahmen scheint dem Verfasser wesentlich plausibler, als die von den Vererbungsforschern gegebene. Die einfachste Lösung wäre natürlich, die geschlechtsbegrenzte Vererbung einfach für ein ebensolches Phantasieprodukt zu erklären, wie Chromosomenindividualität, Parallelkonjugation und Non-Disjunktion [wir vermissen die Widerlegung dieser Spekulation; offenbar scheint sie dem Verfasser durch STIEVE[8]) zur Genüge

[1]) Vgl. z. B. F. v. WETTSTEIN, Zeitschr. f. indukt. Abstammungs- u. Vererbungslehre 33.

[2]) cf. BOVERI, Arch. f. Entwicklungsmech. 44, 429.

[3]) Arch. f. Entwicklungsmechanik d. Organismen 47.

[4]) Vgl. die erst vor kurzem erschienene Arbeit von KENNECKE, Zeitschr. f. wiss. Biol. Abt. B, 1.

[5]) Zeitschr. f. indukt. Abstammungs- u. Vererbungslehre 32.

[1]) Zeitschr. f. indukt. Abstammungs- u. Vererbungslehre 9. 1913.

[2]) Arch. f. Zellforsch. 16. 1922.

[3]) Biol. Bull. 38. 1920.

[4]) Zeitschr. f. indukt. Abstammungs- u. Vererbungslehre 31. 1923.

[5]) Daß gerade diese Erscheinung (die cytologische Bestätigung der genetisch erschlossenen Heterozygotie des ♀ bei den Schmetterlingen (SEILER, Arch. f. Zellforsch. 13), eine der Stützen der Theorie darstellt, wird vom Verfasser übergangen.

[6]) Dieser Ausdruck geht bekanntlich auf die in der älteren Histologie gebräuchliche Homologisierung der Keimzellmassen mit dem Sekret echter Drüsen zurück.

[7]) J. SCHMIDT, Cpt. rend. Labor. Carlsberg 14. 1920.

[8]) Ergebn. d. Anat. u. Entwicklungsgeschichte 1922.

erledigt], eine Möglichkeit, die der Verfasser auf S. 23 vorsichtig andeutet. Die „überzähligen oder Sonderchromosomen" erklärt der Verfasser also einfach für Geschlechtsmerkmale. Der seltsame Parallelismus zwischen dem Vorhandensein dieser Geschlechtsmerkmale und der Existenz von zweierlei Keimzellen, die sich in ihrem X-Chromosomenbestand unterscheiden, beim heterozygoten Geschlecht, wird vom Verfasser nicht erörtert. Auch scheint er sich mit der Annahme, daß jeder Organismus potentiell zweigeschlechtig ist und die Geschlechtsbestimmung nur auf der Einführung eines Differentiators beruht (CORRENS, GOLDSCHMIDT), noch nicht befreundet zu haben, sonst würde er dieses Kapitel nicht durch Aufzählung einiger hermaphroditischer Wirbeltierabnormitäten bereichern.

Die „kurzen Bemerkungen über das Mendeln" vermeiden vorsichtigerweise eine Stellungnahme zu der Unzahl positiver Fälle, sondern suchen die Bedeutung dieses Vorgangs durch Aufzählung einiger noch ungeklärter Vererbungsmodi zu diskreditieren. Von hohem Interesse wäre es gewesen, wenn der Verfasser mitgeteilt hätte, wie er sich Vererbungsversuche unter Benutzung von Merkmalen, die „uns Menschen" nicht „auffallen", vorstellt, denn solche schweben ihm offenbar vor, wenn er die „Auswahl der Gegenmerkmale" als „oft sehr künstlich und allzu menschlich" bemängelt. In welcher Weise sich „die Zahlenverhältnisse" „auch mit der chemischen Vererbungsauffassung gut vereinbaren" lassen, wird vom Verfasser nicht ausgeführt.

Sehr ausführlich sind dagegen seine Bedenken gegen die Crossing-over-Hypothese gehalten. Bezeichnenderweise ist dieses Kapitel das einzige, welches die angefochtenen Theorien zunächst ausführlich darlegt. Es scheint fast, als glaubte der Verfasser in STIEVES Autorität[1]) genügende Rückendeckung zu haben. Da die Erklärung des Faktorenaustausches durch Chiasmatypie kein Fundament der Vererbungslehre darstellt, kann die Besprechung dieses Kapitels unter Hinweis auf den kürzlich in dieser Zeitschrift erschienenen Aufsatz SEILERS[2]) unterbleiben.

Zum Schluß „bekennt sich" der Verfasser „zum Glauben an die Vererbbarkeit erworbener Eigenschaften". Allerdings geschieht das nur in der Form, daß nach einer scharfen Bestimmung dieses Begriffes einige Aphorismen über die Möglichkeit der Beeinflussung der Keimzellen durch adaptativ veränderte Organe „auf dem Wege von Reizstoffen" sowie über die vom Verfasser als „kleinen Fortschritt" bezeichnete Annahme einer allmählichen Entstehung von festen Erbmerkmalen zum besten gegeben werden. Ob die Anhänger der „Vererbung erworbener Eigenschaften" dem Verfasser für diese Anregungen, zumal, wenn sie den Beschluß der oben referierten Ausführungen machen, Dank wissen werden?

Wer endlich aus dieser Besprechung den Schluß zu ziehen geneigt sein sollte, daß sich der Referent um das Geständnis hat herumdrücken wollen, daß die Einwände des Verfassers doch nicht so von der Hand zu weisen seien, dem sei die Lektüre der Schrift selbst empfohlen. KARL BĚLAŘ.

Die Vererbung der sog. Habsburger Lippe. (Nach dem am 12. November 1924 im Wissenschaftlichen Verein zu Berlin gehaltenen Vortrag von STEPHAN KEKULE VON STRADONITZ.) Der Vortragende ist auf Grund langjähriger Beschäftigung mit dem Gegenstand und namentlich des Sammelns, Sichtens und Vergleichens von reichem Bilderstoffe zu der Ansicht gelangt, daß die eigenartige Gesichtsbildung, die man gemeinhin „Habsburger Lippe" nennt, nicht eine einfache, sondern eine zusammengesetzte Erscheinung ist. Mit anderen Worten: sich aus mehreren, und zwar drei, verschiedenen Bestandteilen zusammensetze: einem vorstehenden Unterkiefer (Prognathismus inferior), wulstigen, zuweilen fast negerartigen Lippen und einem seitlich zusammengedrückten Schädel. Dieser seitlich zusammengedrückte Schädel zeigt sich manchmal so stark, daß der Gaumen oben, statt die Gestalt eines romanischen Rundbogens, die eines gotischen Spitzbogens haben dürfte, und außerdem vielleicht in diesem Zusammenhang von einer „akromegaloiden" Veranlagung gesprochen werden kann.

Diese Ansichten finden eine wesentliche Stütze darin, daß die drei vorbezeichneten Veranlagungen von verschiedenen Seiten her dem Habsburger Stamme zugekommen zu sein scheinen, wie sich aus den von dem Vortragenden angestellten Ahnenuntersuchungen ergibt.

Durch Vorführung eines reichen Bilderstoffes und von Ahnentafelauszügen belegte der Vortragende seine Auffassung, wobei das nicht unwichtige Ergebnis das ist, daß es sich um drei Erbanlagen handelt, die sich unabhängig voneinander zu vererben und auch unabhängig voneinander zu „mendeln" scheinen. Treffen sie alle drei in einer Person zusammen, wie bei Kaiser Karl V. und seinem Bruder Kaiser Ferdinand I., so tritt eben diejenige Gesichtsbildung in die Erscheinung, die als „Habsburger Lippe" allen Kennern der Bildnisse aus dem Hause Habsburg-Lothringen und aus den mit ihm infolge von Verschwägerung in Blutsgemeinschaft stehenden Häusern geläufig ist.

Karl V. und seine Geschwister (Ferdinand I. und vier Schwestern) stellen sich dem Vortragenden dabei als die erste „Hybridengeneration" im Sinne GREGOR MENDELS dar!

Auch für weniger mit den Grundtatsachen der Vererbungswissenschaft Vertraute war es jedenfalls fesselnd, an den vorgeführten Bildern meist erster Meister zu sehen, wie, mit den Blutlinien, von dem Antlitz auf dem Grabsteine *Heinrichs II. von Kastilien* († 1354) eine Vererbung der Mundform mit der dicken Lippe durch Johann I., dessen Sohn Heinrich III., dessen Sohn Johann II., dessen Tochter Isabella und deren Tochter Johanna die Wahnsinnige auf deren Kinder: Karl V. und Geschwister hinabreicht, oder von *Margareta von Bayern, Holland und Hennegau* (1423) eine Vererbung des seitlich abgeplatteten Schädels, des starken und spitzen Kinns, vielleicht eine „akromegaloide" Veranlagung, durch Philipp den Guten, dessen Sohn Karl den Kühnen, dessen Tochter Maria und deren Sohn Philipp den Schönen auf dessen Kinder, also ebenfalls auf Karl V. und Geschwister hinab, oder endlich von *Ernst dem Eisernen von Steiermark* († 1424), wahrscheinlich schon von dessen Ur-Urgroßvater des Mannesstammes: Rudolf I. von Habsburg (1291), eine Vererbung des vorstehenden Unterkiefers durch Ernsts Sohn: Kaiser Friedrich III., dessen Sohn Kaiser Maximilian I. und dessen Sohn Philipp den Schönen wieder auf Karl V. und Geschwister hinabreicht.

Als verblüffend erwies sich die Ähnlichkeit des jetzigen Königs Alfonso XIII. von Spanien mit Karl V. oder Ferdinand I. VON KEKULE.

Über Vererbung im Y-Chromosom. (RICHARD GOLDSCHMIDT, Biologisches Zentralblatt 42. 1922). Untersuchungen an Lymantria dispar haben GOLDSCHMIDT zu folgenden Schlüssen geführt: In jeder befruchteten

[1]) 1922, l. c.
[2]) Naturwissenschaften. 1924. Heft 34.

Eizelle sind die Faktoren für beide Geschlechter vorhanden, und das definitive Geschlecht wird durch die rivalisierende Aktion dieser weiblichen und männlichen Faktoren entschieden. Der Männlichkeitsbestimmer wird bei weiblicher Heterozygotie — bei den Schmetterlingen ist ja das Weibchen heterogametisch — im X-Chromosom übertragen; der Weiblichkeitsbestimmer F aber wird bei Lymantria dispar rein mütterlich vererbt. Die Geschlechtsformeln würden demnach so lauten:

$$\boxed{F}\,M\,m = ♀\,, \qquad \boxed{F}\,M\,M = ♂\,.$$

Die Einrahmung des F soll seine rein mütterliche Vererbung kennzeichnen. Die Untersuchung muß darauf hinauslaufen, zu entscheiden, ob diese mütterliche Vererbung im Cytoplasma des Eies oder im Y-Chromosom stattfindet. Der nächstliegende Beweis für die Übertragung durch das Y-Chromosom von der Mutter durch das weiblich determinierte Ei auf die Tochter wäre gegeben, wenn sich ein geschlechtsgekoppelter Faktor und ein Austausch zwischen X- und Y-Chromosom nachweisen ließe. Darüber ist nichts bekannt.

Goldschmidt sucht den Beweis auf dem Weg seiner Intersexualitätsexperimente zu führen. Die Eier, die sich zu Männchen entwickeln und die ja nach den Reifeteilungen kein Y-Chromosom mehr besitzen, müssen nach den Ergebnissen dieser Experimente doch den Weiblichkeitsfaktor enthalten. Liegt F im Y-Chromosom, so muß seine Wirkung schon vor den Reifeteilungen in Tätigkeit getreten sein. Goldschmidt nimmt an, daß wie alle anderen Prozesse, die bei einem determinierten Ei zu einer determinierten Entwicklung führen, auch das Y-Chromosom frühzeitig eine spezifische Organisation des Eiplasmas hervorgerufen hat. Daß der Faktor F tatsächlich im Y-Chromosom gelegen ist, soll durch das Auftreten von Fällen von Nichtauseinanderweichen der Geschlechtschromosomen (nondisjunction) bewiesen sein. „Wenn in einem Ei die XY-Gruppe bei der Reifeteilung beisammen bleibt (plimäres Non-disjunction), so können durch die Befruchtung XXY ♂ gebildet werden. In deren Geschlechtszellen kommen dann die Chromosomenkombinationen $X - XX - XY - Y$ gebildet werden. Kommt also ein solches ♂ zur Befruchtung, so sind Abweichungen im Erbverhalten zu erwarten. In den Intersexualitätsexperimenten findet sich nun die Kombination, daß bei Kreuzung von ♀ mit quantitativ schwachen Geschlechtsfaktoren mit ♂ mit quantitativ starken Geschlechtsfaktoren alle genetischen ♀♀ in ♂♂ umgewandelt werden, weil das vom Vater stammende starke M über das mütterliche schwache F auch im heterozygoten Zustand gewinnt, wie dies in seinen Arbeiten ausgeführt ist. Also wenn die „starken" Faktoren durch das Suffix S bezeichnet sind.

$$♀\,\boxed{F}\,M\,m \times ♂\,\boxed{F_S}\,M_S\,M_S =$$
$$♂\ \text{(aus genet. ♂)}\,\boxed{F}\,M_S\,m + ♂\,\boxed{F}\,M\,M_S\,.$$

Gelegentlich findet sich in solchen Zuchten ein einzelnes ♀, das sich nur so erklären läßt, daß der Vater ein non-disjunction ♂ war, das auch einzelne Geschlechtszellen mit einem Y-Chromosom erzeugt, die mit einem X-Ei ein ♀ ergeben. Der Beweis für diese Erklärung fehlt vorläufig, da keine geschlechtsgekoppelten Faktoren bei Lymantria bekannt sind; der Schluß ist also nur per exclusionem möglich.

Ist die Annahme, die Goldschmidt für die Entstehung der Extraweibchen macht, richtig, dann entspricht dem Y-Chromosom in der Formel der rezessive Faktor m. Das Ei hat die Geschlechtsfaktoren $\boxed{F}\,M$ und nach der Befruchtung mit der abnormen Spermie $\boxed{F}\,M\,m = ♀$. Würde F im Plasma liegen, dann müßten die Nachkommen dieser Kreuzung das gleiche schwache F wie ihre Mutter besitzen, und da auch das M von der Mutter kam, würde sich die genetische Zusammensetzung überhaupt nicht von der Mutter unterscheiden; wie diese müßten sich auch die Nachkommen weiterhin wie ein typisches „schwaches" ♀ der betreffenden Rasse verhalten. Wird das F aber im Y-Chromosom vererbt, das ja bei den Extraweibchen ausnahmsweise vom Vater stammt, so handelt es sich um den starken Faktor F_S; das Weibchen hätte also die Erbformel $\boxed{F_S}\,M\,m$. Dies ist die Formel eines F_1 ♀ aus der reziproken Kreuzung „starkes" Weibchen × „schwaches" Männchen:

$$♀\,\boxed{F_S}\,M_S\,m \times ♂\,\boxed{F}\,M\,M = ♀\,\boxed{F_S}\,M\,m = ♂\,\boxed{F_S}\,M\,M_S\,.$$

„Daraus folgt also, daß für den Fall, daß F im Y-Chromosom vererbt wird, das Extraweibchen sich in der weiteren Vererbung genau verhalten muß wie ein gewöhnliches F_1-♀ der Kreuzung stark ♀ × schwach ♂, also ganz anders als im Fall der Annahme der plasmatischen Vererbung". Goldschmidt hat die Nachkommenschaft dreier solcher Extraweibchen daraufhin geprüft und ihr Verhalten in Übereinstimmung mit der Annahme der Vererbung des Weiblichkeitsfaktors im Y-Chromosom gefunden. W. Landauer.

Über den Chromosomenzyklus von parthenogenetischen Erdnematoden. (Karl Bělař, Biologisches Zentralblatt 43. 1923.) Der Verfasser berichtet in einer vorläufigen Mitteilung kurz über sehr interessante cytologische Vorgänge, die er an von ihm neu entdeckten Nematodenarten gemacht hat. Die eine untersuchte Art ist thelytok-parthenogenetisch, doch werden zeitweise im Ovarium Spermien ausgebildet, die zwar in das Ei eindringen, aber keinen mit dem Eikern verschmelzenden Spermakern liefern, also nur als Entwicklungserreger funktionieren. In der Ovogenese ist die eine (einzige) Reifungsteilung eine Äquationsteilung; in ihrer Telophase zeigt jedes Chromosom einen Spalt, der aber zu keiner weiteren Teilung führt. Bei der Spermatogenese kommen in einem Teil der Spermatocyten Paarung *aller* Chromosomen, in den meisten aber nur Paarung einer wechselnden Zahl von Chromosomen vor, während der Rest ungepaart bleibt; gelegentlich bleiben alle ungepaart. Wir haben in der Spermatogenese offenbar eine abgeschwächte, in der Ovogenese völlig fehlende Tendenz zur Chromosomenkonjugation.

Eine andere untersuchte Form (Rhabditis monohystera) ist getrenntgeschlechtlich. Während bisher nur Weibchen bekannt waren, fand B. ein Geschlechtsverhältnis von 100 ♀ : 6 ♂. Die Keimbahn der Weibchen ist also rein parthenogenetisch. Trotzdem findet sich in der Ovogenese Synapsis, Pseudoreduktion (Tetradenbildung) und Zahlenreduktion der Chromosomen. Die diploide Chromosomenzahl wird durch eine Zweiteilung jedes Chromosoms in der Telophase der Reifungsteilung wiederhergestellt. Gleiches wurde bei rein thelytok-parthenogenetischen Rhabditisarten gefunden. Hier findet also in einer rein apomiktischen Keimbahn Chromosomenkonjugation und Zahlenreduktion statt, wobei bei der Reduktionsteilung eine der „homologen" Chromosomengarnituren aus dem Ei entfernt wird; beide Garnituren sind äquale Teilhälften einer Garnitur. Pseudoreduktion (bleibende Paarung von Chromosomen bis zur Reifeteilung) wurde auch von Seiler bei Psychiden gefunden.

Neu ist die Beobachtung, daß die Reifeteilung hier auch tatsächlich *reduziert*. Aus den Folgerungen, die der Verf. aus seinen Beobachtungen zieht, sei nur die wichtige Feststellung hervorgehoben, daß „*für das Zustandekommen einer Chromosomenkonjugation das Vorhandensein zweier homologer Chromosomengarnituren verschiedener Provenienz nicht nötig ist*", denn in dem vorliegenden Falle sind ja die Chromosomen Geschwister.

W. LANDAUER.

Polyploidy. In einem zusammenfassenden Bericht behandelt GATES (Brit. journ. exp. biol. 1. 1924) die Polyploidie, d. h. jene Erscheinung, die sich darin äußert, daß bestimmte pflanzliche oder tierische Organismen überzählige Chromosomengarnituren aufweisen[1]). Als „wahre" Polyploidie bezeichnet GATES jene Fälle, wo die Vermehrung der Chromosomensätze entwicklungsgeschichtlich durch Längsspaltung zustande kommt. Derselbe Vorgang kann aber — wenn auch selten — vorgetäuscht werden durch Querteilung wofern die Fragmentation gleichmäßig alle Chromosomen eines Satzes umfaßt; das gibt sich dann häufig in einer Verkürzung der Chromosomen zu erkennen. In der Arbeit wird aber nur die erste Kategorie näher behandelt. Echte Polyploidie ist sowohl im Tierreich wie auch im Pflanzenreich häufig experimentell erzeugt worden — vielfach freilich nur in bestimmten Entwicklungsstadien und bei begrenzten Gewebepartien (mechanische und chemische Eingriffe in die normale Entwicklung von tierischen Eiern, Behandlung von Wurzelspitzen mit Chloralhydrat, Chininsulfat usw.). Während es sich hier aber um stark pathologische Erscheinungen handelt, haben die bekannten Moosversuche der Gebr. MARCHAL zu einem vollkommen gesetzmäßigen polyploiden Entwicklungsablauf geführt. Diploide Moossporophyten konnten durch besondere Eingriffe unter Ausschaltung der Reduktionsteilung zur Produktion von diploiden Gametophyten (die normalerweise haploid sind!) gezwungen und durch Wiederholung des Verfahrens eine Vervierfachung des Chromosomensatzes erzielt werden. Diese Experimente sind von SCHWEIZER weiter ausgebaut worden und haben zu dem Ergebnis geführt, daß in bestimmten Fällen der Verdoppelung des Chromosomensatzes eine Vergrößerung der Proportionen parallel geht. Das sind Dinge, die in Einklang stehen mit dem Verhalten der tetraploiden „Gigasformen", bei denen die Vergrößerung sowohl die Einzelzellen wie auch die sämtlichen Organe erfaßt. Das bekannteste Beispiel ist Oenothera gigas (Riesennachtkerze), indessen mehren sich ständig die Angaben über solche Riesenformen, und es ist besonders beachtenswert, daß WINKLER solche experimentell bei der Tomate durch Pfropfung herstellen konnte; bei der Transplantation müssen in einer im einzelnen noch nicht geklärten Weise Kernfusionen zustande gekommen sein, die Tetraploidie und Riesenwuchs zur Folge hatten. Übrigens gelang es WINKLER auch bei normalen Tomatenpflanzen in bestimmten Zellelementen, z. B. dem Mark, Polyploidie (bis zur Verachtfachung) festzustellen, und er äußert die Vermutung, daß dieser Vorgang mit der Volumenvergrößerung der entsprechenden Zellen in Zusammenhang zu bringen ist (Kernplasmarelation!). Um falsche Verallgemeinerungen zu verhüten, muß betont werden, daß nicht alle Tetraploidformen Gigascharakter zeigen; das gilt auch innerhalb der Gattung Oenothera. Phylogenetisch von besonderer Bedeutung ist ein Vergleich der Chromosomenzahlen innerhalb bestimmter Gattungen und Familien. Während manche Genera ziemlich scharf einen festen Wert einhalten, weisen viele andere eine Staffelung nach multiplen Verhältnissen auf, die offenbar durch schubweise Vermehrung der Chromosomensätze zustande kommt. Bezeichnet man mit x die Zahl der Chromosomen im haploiden Satz, dann birgt z. B. die Gattung Rosa Arten mit 2 x 3 x, 4 x, 5 x, 6 x und 8 x, die Gattung Chrysanthemun (Wucherblume) solche mit 2 x, 4 x, 6 x, 8 x und 10 x Chromosomen, während sich die Gattung Carex (Segge) mit ihren fließenden Chromosomenzahlen (15—42) nicht in dieses Schema einfügt. Es handelt sich in diesen Fällen zweifellos um erblich gewordene Polyploidie, und es verdient Beachtung, daß wir solche Verhältnisse besonders häufig bei Kulturpflanzen antreffen (Hafer, Weizen, Bananen usw.). Beim Weizen ist die Einkornreihe (Tr. monococcum) diploid (14 Chr.), die Emmerreihe (T. dicoccum, durum usw.) tetraploid (28 Chr.) und die Speltreihe (T. vulgare, spelta usw.) hexaploid (42 Chr.). Innerhalb jeder Reihe sind die Bastarde fertil, von Reihe zu Reihe steril. In solchen Fällen ist die Polyploidie mutmaßlich durch Kreuzung entstanden; so kann man die Speltreihe auf Bastardierung zwischen Diploid- und Tetraploidformen zurückführen. Vielleicht hängt mit dieser Polyploidie die Tatsache zusammen, daß man bei den Cerealien häufig „polymere" Vererbungsfaktoren antrifft, worunter man die Erscheinung begreift, daß ein und dasselbe äußere Merkmal durch mehrere gleichsinnige Faktoren (Gene) bedingt ist: mit den Chromosomensätzen sind auch die Gene vervielfältigt. Mit der Zurückführung der Polyploidie auf Bastardierung findet auch die Tatsache Erklärung, daß Polyploidformen häufig (nicht immer!) apogam sind, wie das bei den Gattungen Erigeron, Hieracium, Eupatorium und Rosa der Fall ist. ERNST hat ja wahrscheinlich gemacht, daß Artkreuzung vielfach von Apogamie gefolgt ist. Indessen betont GATES mit Recht, daß das Zustandekommen der Polyploidie von Fall zu Fall einer besonderen Untersuchung bedarf und daß es keineswegs zulässig ist, alle Typen in ein einziges Schema hineinzuzwängen.

STARK.

[1]) Vgl. hierzu die Referate über WINKLER Bd. 5, S. 80; OVEREEM, DE MOL und SCHWEIZER Bd. 12, S. 248—250.

Berichtigung. In dem Vortrag über das Rätsel der Paralyse in Heft 50 des 12. Jahrganges hat sich auf nicht aufgeklärte Weise die unsinnige Angabe eingeschlichen, daß sich nach HELLERS Mitteilung von 510 ihm bekannten Männern aus dem jüdischen Bürgertum Berlins, die im Alter von über 40 Jahren starben, nicht weniger als 34,7% Paralytiker befunden hätten. In Wirklichkeit handelt es sich um 32 Fälle, also etwa 6,3%, noch immer eine erschreckende Zahl.

KRAEPELIN.

Herausgeber und verantwortlicher Schriftleiter: Dr.-Ing. e. h. DR. ARNOLD BERLINER, Berlin W 9.
Verlag von Julius Springer in Berlin W 9. — Druck der Spamerschen Buchdruckerei in Leipzig.

Verlag von Julius Springer in Berlin W 9 / Verantwortlich für den Anzeigenteil C. Lemke, Berlin W / Druck der Spamerschen Buchdruckerei in Leipzig